

# Лікувальна фізична культура, спортивна медицина й фізична реабілітація

УДК 796.13,172.2,176.4,178:796.422

## КРИТЕРІЇ АДЕКВАТНОСТІ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В СПОРТІ, ФІЗИЧНОМУ ВИХОВАННІ Й ФІЗИЧНІЙ РЕАБІЛІТАЦІЇ

Зоряна Коритко<sup>1</sup>, Едуард Кулітка<sup>1</sup>, Ольга Бас<sup>1</sup>, Галина Чорненька<sup>1</sup>, Василь Західний<sup>1</sup>,  
Тарас Якубовський<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського, Львів, Україна, korytko@ukr.net

<https://doi.org/10.29038/2220-7481-2020-02-68-77>

### Анотації

**Актуальність.** Відомо, що фізичні навантаження (ФН) позитивно впливають на організм людини, яка займається руховою активністю, чи пацієнта в процесі реабілітації лише тоді, коли вони є адекватні до функціональних можливостей. На сьогодні актуальною проблемою залишається дозування ФН і моніторинг процесу їх впливу на організм для підвищення рівня здоров'я людей у процесі фізичного виховання, спортивних занять та під час реабілітації хворих. Постає необхідність пошуку критеріїв адекватності ФН, за якими можна було б відслідковувати їх величину й ефективність. **Мета** статті – з'ясувати критерії адекватності ФН за показниками серцево-судинної системи (ССС) на моделі з граничними ФН. **Методи досліджень.** Досліджено реакцію на граничні ФН спортсменів високої (ВК) і низької кваліфікації (НК) для з'ясування маркерних показників ССС, за якими спортсмени ВК та НК відрізняються. Вивчено показники центральної гемодинаміки й варіабельності серцевого ритму, проведено статистичну обробку результатів, виявлено кореляційні зв'язки. **Результати роботи.** Установлено, що за зміною показників ЦГД: ЧСС, серцевого індексу (СІ), хвилинного об'єму крові (ХОК), показниками роботи (РЛШ) і потужності лівого шлуночка (W), швидкості вигнання крові (Ve), коефіцієнта економічності кровообігу (КЕК), індексу Робінсона (ІР) та коефіцієнта витривалості (КВ) можемо діагностувати адекватність реакції організму на ФН, оцінити адаптаційні можливості, функціональні резерви ССС, використовувати для підбору й моніторингу величини адекватних ФН, оскільки ці показники в спортсменів ВК нижчі в стані спокою та в період відновлення. Найбільш точними маркерами адекватності реакції організму на впливи екстремальних навантажень виявилися показники ударного об'єму (УО), ударного індексу (УІ) й індексу напруження міокарда (ІНМ), оскільки вони по-різному змінювалися в спортсменів ВК та НК і при ФН, і в період відновлення.

**Ключові слова:** фізичні навантаження, контроль, серцево-судинна система, варіабельність серцевого ритму, центральна гемодинаміка.

**Зоряна Коритко, Едуард Кулітка, Ольга Бас, Галина Чорненькая, Василий Західний, Тарас Якубовский.** Критерии адекватности физических нагрузок и их использование в спорте, физическом воспитании и физической реабилитации. **Актуальность.** Известно, что физические нагрузки (ФН) положительно влияют на организм человека, занимающегося двигательной активностью, или пациента в процессе реабилитации только тогда, когда они адекватны их функциональным возможностям. На сегодня актуальной проблемой остается дозирование ФН и мониторинг процесса их воздействия на организм для повышения уровня здоровья людей в процессе физического воспитания, спортивных занятий и во время реабилитации больных. Возникла необходимость поиска критериев адекватности ФН, по которым можно было бы отслеживать их дозирование и эффективность. **Цель** статьи – выяснить критерии адекватности ФН по показателям сердечно-сосудистой системы (ССС) на модели с предельными ФН. **Методы исследований.** Исследуется реакция на предельные ФН спортсменов высокой (ВК) и низкой квалификации (НК) для выяснения маркерных показателей ССС, по которым спортсмены ВК и НК отличаются. Изучаются показатели центральной гемодинамики и вариабельности сердечного ритма, проводится статистическая обработка результатов, выявляются корреляционные связи. **Результаты работы.** Установлено, что за изменением показателей ЦГД: ЧСС, сердечного индекса (СИ), минутного объема крови (МОК), показателями работы (РЛЖ) и мощности левого желудочка (W), скорости изгнания

крови ( $V_e$ ), коефіцієнта економічності кровообращення ( $KЭК$ ), індекса Робінсона ( $ИР$ ) і коефіцієнта вивносності ( $КВ$ ) можна діагностувати адекватність реакції організму на ФН, оцінити адаптаційні можливості, функціональні резерви ССС, використовувати для підбору і моніторингу величини адекватних ФН, оскільки ці показники у спортсменів ВК нижче в стані спокою і в період відновлення. Найбільш точними маркерами адекватності реакції організму на вплив екстремальних навантажень є показники: ударного об'єму ( $УО$ ), ударного індексу ( $УИ$ ) і індексу напруження міокарда ( $ИИМ$ ), оскільки вони по-різному змінюються у спортсменів ВК і НК і при ФН, і в період відновлення.

**Ключевые слова:** фізичні навантаження, контроль, серцево-судинна система, варіабельність серцевого ритму, центральна гемодинаміка.

**Zoriana Korytko, Eduard Kulitka, Olha Bas, Halyna Chornenka, Vasyl Zahidnyy, Taras Yakubovskiy. Adequacy Criteria of Physical Loadings and Their Use in Sports, Physical Education, and Physical Rehabilitation. The Research Relevance.** It is known that physical loadings (FL) positively affect the organism of a person engaged in motor activity or a patient in the process of rehabilitation only when they are adequate to the functional capabilities. Today, the actual issue is the FL dosage and monitoring of the process of their impact on organism to improve the health level of people in the process of physical education, sports classes, and rehabilitation of patients. The need for finding FL adequacy criteria arises, by which would be possible to track their size and effectiveness. **The Research Aim:** to determine the FL adequacy criteria by the cardiovascular system (CVS) indicators using the model with limited FL. **The Research Methods.** The reaction to the limited FL of athletes of high qualification ( $HQ$ ) and low qualification ( $LQ$ ) is examined to find out the markers of CVS, according to which  $HQ$  and  $LQ$  athletes differ. Central hemodynamics ( $CHD$ ) and heart rate variability indicators were studied, statistical processing of the results was performed, and correlations were revealed. **The research results.** It was determined that by the change of  $CHD$  parameters: heart rate ( $HR$ ), cardiac index ( $CI$ ), cardiac output ( $CO$ ), left ventricular performance ( $LVP$ ) and left ventricular power ( $W$ ), blood expulsion rate ( $V_e$ ), circulatory efficiency ( $CEC$ ), Robinson's index ( $RI$ ) and endurance coefficient ( $EC$ ) can diagnose the adequacy of the body's response to FL, to assess the adaptive capabilities, functional reserves of the CVS, use to select and monitor the adequate FL values because these indicators are lower in  $HQ$  athletes at rest and recovery period. The most accurate markers of the adequacy of the organism's reaction to the effects of extreme loadings appeared indicators of stroke volume ( $SV$ ), shock index ( $SI$ ) and myocardial stress index ( $MSI$ ), because they changed differently in  $HQ$  and  $LQ$  athletes both at FL and during recovery period.

**Key words:** physical loadings, control, cardiovascular system, heart rate variability, central hemodynamics.

**Вступ.** На сьогодні загальновідомий факт позитивного впливу фізичної активності (ФА) на організм людини й користь від її застосування в різних сферах: спорті, фізичному вихованні широких верств населення, а також у фізичній реабілітації хворих із різноманітною патологією [6; 17]. Водночас рух не завжди асоціюється зі здоров'ям, оскільки ФА, як і будь-який вплив на організм людини, має бути адекватною до функціональних можливостей організму [11; 20; 21]. В іншому випадку застосування неадекватної «дози» ФА може мати зворотний ефект і призводити до зниження рівня фізичного стану, рівня фізичного здоров'я, зниження імунітету; провокувати виникнення передпатологічних станів, підвищення рівня небезпеки розвитку серцево-судинної патології та цереброваскулярних ускладнень і навіть раптової смерті на тлі гострих фізичних перевантажень [11; 13]. Оскільки випадки раптової смерті від неадекватних ФН трапляються й у цілком здорових осіб (школярів на уроках фізичної культури, спортсменів під час напружених тренувань чи відповідальних змагань), то для людей зі зниженим рівнем фізичного здоров'я і хворих небезпека в застосуванні неадекватної рухової активності стає ще більшою [16]. Звідси постає необхідність у чіткому дозуванні ФН та моніторингу ефекту від їх застосування для здоров'я людини різного віку, статі, вихідного рівня фізичної активності й здоров'я, а також для хворих у процесі реабілітації. Це можливо у випадку наявності критеріїв адекватності ФН для їх використання в процесі дозування та моніторингу навантажень. На нашу думку, пошук критеріїв адекватності ФН до функціональних можливостей організму за показниками різних систем є можливим при порівнянні розгортання адаптаційно-компенсаторних реакцій за умов граничної фізичної роботи «до відмови» в спортсменів, адаптованих до фізичних перевантажень (високої кваліфікації – ВК) та менш адаптованих (низької кваліфікації – НК) із маркуванням параметрів, які по-різному змінюються в них за умов граничних ФН і вказують на напруження механізмів адаптації.

Оскільки ФН впливають на всі системи організму, то визначення критеріїв адекватності проводилося нами за показниками багатьох систем [7–11], але оскільки випадки раптової смерті за умов фізичних перевантажень зумовлені здебільшого серцево-судинною катастрофою, то наша увага в цьому дослідженні зосереджена на показниках серцево-судинної системи (ССС).

**Мета дослідження** – з'ясувати критерії адекватності фізичних навантажень за показниками серцево-судинної системи на моделі з граничними фізичними навантаженнями.

**Матеріал і методи дослідження.** Для досягнення мети змодельовано граничні ФН із використанням велоергометричного ступеневозростаючого тесту Конконі [19] й досліджено реакцію різних параметрів ССС у спортсменів із різним ступенем адаптації до ФН (високої та низької кваліфікацій) для виокремлення показників, які по-різному реагують у них в екстремальній ситуації за умов граничних ФН і можуть слугувати критеріями адекватності реакції організму на фізичні перевантаження. Досліджено 46 бігунів-спринтерів віком 18–20 років, чоловічої статі, ВК (I розряд – МС,  $n=21$ ) і НК (II-III розряд,  $n=25$ ). Від усіх досліджених отримано інформовану згоду.

До, після ФН і при відновленні оцінювали зміни показників центральної гемодинаміки (ЦГД) із допомогою програми ReoCom (Харків). Із запису грудної реограми аналізували ударний об'єм (УО, *мл*), ударний індекс (УІ, *мл/м<sup>2</sup>*), хвилинний об'єм крові (ХОК, *л/хв*), серцевий індекс (СІ, *л/хв/м<sup>2</sup>*), загальний периферичний опір судин (ЗПОС, *дин·с/см<sup>5</sup>*), питомий периферичний опір (ППО, *дин·с·м<sup>2</sup>/см<sup>5</sup>*), об'ємну швидкість вигнання крові ( $V_e$ , *мл/с*), роботу (А, *кг\*м*) і потужність лівого шлуночка (W, *Вт*), індекс роботи лівого шлуночка (ІА, *кг\*м/м<sup>2</sup>*), індекс напруження міокарда (ІНМ, %). Для оцінки резервів ССС розраховували середній артеріальний тиск (САТ, *мм рт. ст.*), коефіцієнт економічності кровообігу (КЕК, *ум. од.*), індекс Робінсона (ІР, *ум. од.*) і коефіцієнт витривалості (КВ, *ум. од.*) [12].

Паралельно оцінювали стан автономної нервової системи (АНС) із допомогою програми CardioLab (Харків) за часовими та спектральними характеристиками варіабельності серцевого ритму (BCP). Проаналізовано часові характеристики: ЧСС, *ск./хв*, сумарний показник варіабельності серцевого ритму (SDNN, *мс*), квадратний корінь із суми квадратів різниці величин послідовних пар інтервалів NN (RMSSD, *мс*), відсоток NN50 від загальної кількості послідовних пар інтервалів, які різняться більш ніж на 50 мс (PNN50, %), а також показники варіаційної пульсометрії: мода (Mo, *мс*), амплітуда моди (AMo, %), варіаційний розмах (MxDMn, *мс*) та низка похідних показників, як-от індекс напруження (SI), індекс вегетативної рівноваги (IVR), вегетативний показник ритму (VPR), показник адекватності процесів регуляції (PAPR). Періодичні компоненти серцевого ритму оцінювали за спектральними параметрами: загальною потужністю спектра ( $TP$ , *мс<sup>2</sup>*), потужністю високо-частотних коливань у діапазоні 0,15–0,40 Гц, ( $HF$ , *мс<sup>2</sup>*), потужністю низькочастотних коливань у діапазоні 0,4–0,15 Гц ( $LF$ , *мс<sup>2</sup>*), потужністю дуже низькочастотних коливань у діапазоні 0,04–0,015 Гц ( $VLF$ , *мс<sup>2</sup>*), симпато-вагальним індексом ( $LF/HF$ ), індексом централізації ( $IC=(VLF+LF)/HF$ ), а також за відносними потужностями всіх складових частин спектра у відсотках ( $HF$ , %,  $LF$ , %,  $VLF$ , %) [2; 4].

Дані статистично опрацьовували з допомогою програми SPSS 11.5 із використанням непараметричних критеріїв Вілкоксона та Мана-Уїтні. Кореляційні співвідношення між величинами вивчали із застосуванням коефіцієнта кореляції Пірсона.

**Результати дослідження.** Показники ЦГД в обстежуваних групах у всіх станах дослідження продемонстрували гемодинамічну неоднорідність (рис. 1, 2), яка відображала різні шляхи їх адаптації ССС під впливом регулярних ФН і дала змогу виокремити маркерні показники адекватності реакції на ФН. У стані спокою в спортсменів ВК відзначено тенденцію до економізації серцевої гемодинаміки: суттєво нижча ЧСС (близько 11 %,  $p < 0,05$ ), більший коронарний резерв (вищий ударний об'єм крові (на 16,3 %,  $p < 0,05$ ), нижчий серцевий індекс (на 14,2 %,  $p < 0,05$ ), нижчі показники КЕК (на 17,8 %,  $p < 0,05$ ) та ІР (на 9,36 %,  $p < 0,05$ ), що вказувало на вищий адаптаційний потенціал і більші функціональні резерви серця спортсменів ВК. Інші параметри ЦГД у стані спокою в групах не відрізнялися ( $p > 0,05$ ).

Після ФН «до відмови» всі вищезазначені параметри з більшою чи меншою амплітудою коливань змінювалися синхронно в обох групах (рис. 1), але в спортсменів ВК економізація за величиною цих показників посилилася й це при тому, що спортсмени ВК виконали ФН вище на 3,63 %, ніж НК.

Чутливим критерієм адекватності ФН виявився коефіцієнт витривалості, оскільки КВ по-різному змінювався в спортсменів ВК і НК після ФН, а особливо при відновленні (рис. 1), що свідчило про ослаблення роботи серця в спортсменів НК ( $P < 0,01$ ).

Маркерами адаптаційних змін в організмі при дії постійних ФН і маркерами зриву адаптаційних процесів при моніторингу впливу ФН на організм людини можуть бути показники УО, УІ й ІНМ, оскільки за їх величиною спостерігали різновекторні зміни в спортсменів ВК та НК, а особливо при відновленні. За цими даними, у спортсменів НК був вищий рівень невідновлення (рис. 2), що розцінювалося нами як неадекватна реакція, оскільки ФН були надмірними для цієї групи спортсменів.

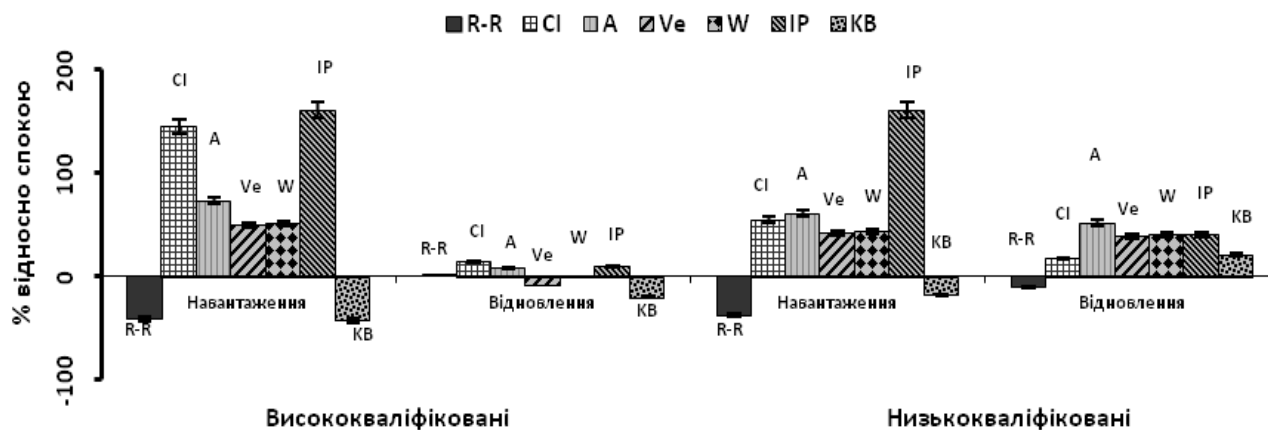


Рис. 1. Зміни окремих показників ЦГД у спортсменів ВК та НК після ФН (%)

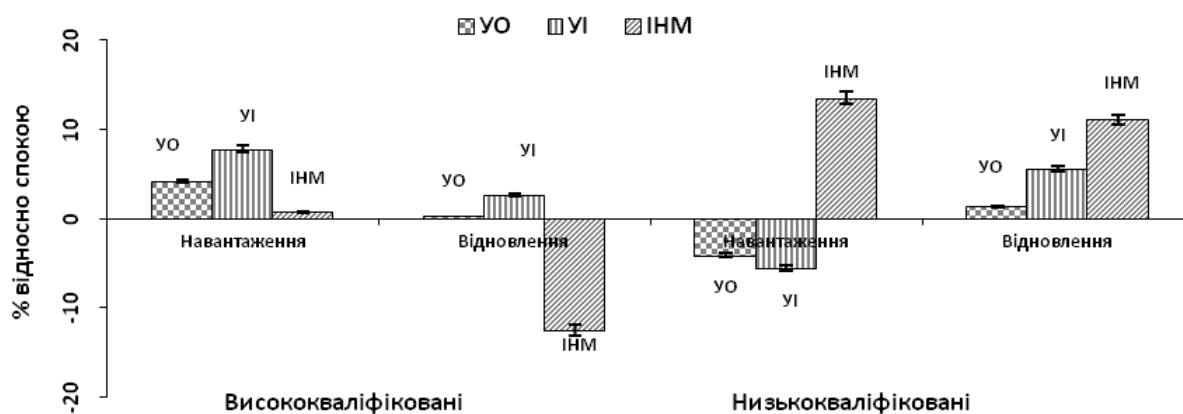


Рис. 2. Зміни UO, UI та INM у спортсменів ВК та НК після ФН та при відновленні (%)

У стані спокою спортсмени ВК і НК за параметрами часових та спектральних характеристик ВСР незначно відрізнялися. У спортсменів ВК простежено тенденцію до зниження вазомоторних впливів на активність синусового вузла, оскільки загальна потужність спектра TP – показника, що відображає сумарну активність вегетативного впливу на серцевий ритм, у них була нижча – на 27,2 % ( $p > 0,05$ ), а потужність низькочастотних коливань LF, що характеризують стан симпатичної нервової системи – на 35,9 % ( $p < 0,05$ ); спостерігалася також тенденція до посилення надсегментарних впливів на активність автономного контура, про що свідчило переважання недихальних складових частин синусової аритмії над дихальними (на 40 % вищий, ніж у спортсменів НК, індекс централізації).

Після ФН «до відмови» з високою достовірністю в обох групах зросли всі параметри ВСР, причому в спортсменів ВК простежено тенденцію до економізації, яка проявлялась у меншому збільшенні показників (рис. 3, 4).

У спортсменів ВК яскравим проявом адаптаційних реакцій до дії постійних ФН була активація симпатичної ланки, яка меншою мірою (на 25,4 %,  $p < 0,05$ ), ніж у бігунів НК, пригнічувала активність автономного контура (показник SDNN) (рис. 3).

Порівняльний аналіз змін спектральних показників ВСР під впливом ФН також підтвердив економізацію, яка проявилась у меншому зниженні загальної варіабельності серцевого ритму (показник TP,  $p < 0,05$ ) у спортсменів ВК. Як видно з рис. 3, за показником VLF спостерігали протилежні зміни. У спортсменів ВК значно зросла потужність дуже низькочастотного компонента варіабельності VLF ( $P < 0,01$ ) і його відносний внесок у структуру спектра, що свідчило про відносно більшу участь у регуляції їхнього серцевого ритму надсегментарних рівнів (рис. 4).

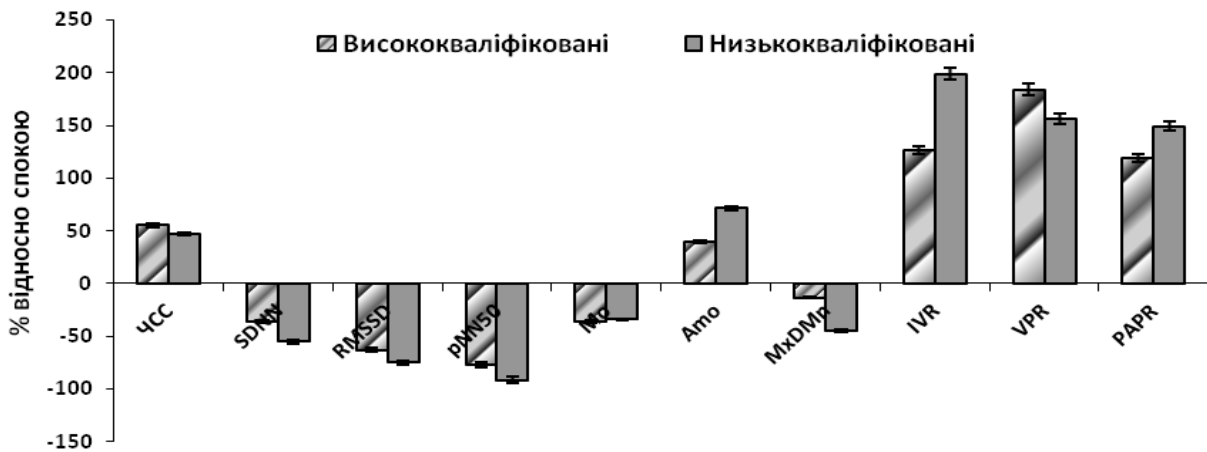


Рис. 3. Зміни часових параметрів та похідних індексів у спортсменів ВК та НК після ФН (%)

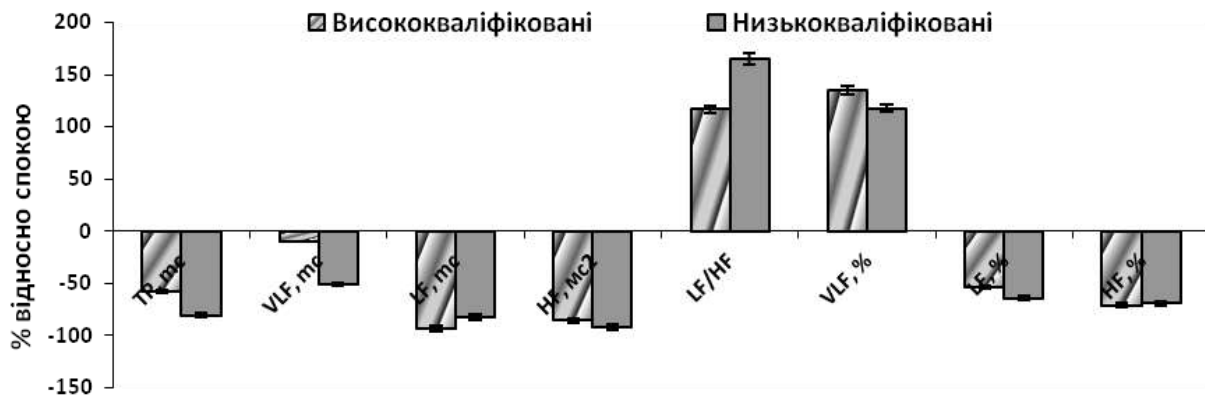


Рис. 4. Зміни спектральних характеристик ВСР у спортсменів ВК та НК після ФН (%)

У групі спортсменів ВК, крім показника VLF, також більше зросли дані стрес-індексу й індексу централізації ( $p < 0,01$ ) (рис. 5). Потрібно відзначити, що показники SI та IC зросли в декілька разів більше, ніж дані інших параметрів ВСР (рис. 3–5).

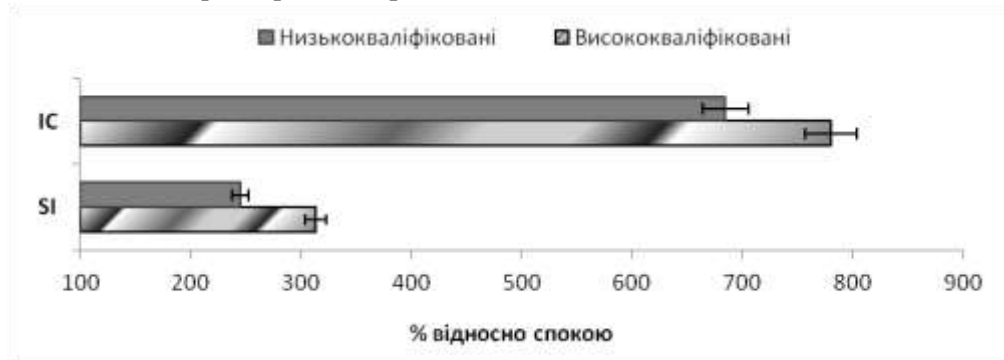


Рис. 5. Зміни SI та IC у спортсменів ВК та НК після ФН «до відмови» (%)

Кореляційний аналіз показників ЦГД і ВСР показав, що при ФН у спортсменів ВК найтісніші зв'язки з найбільшою кількістю параметрів ВСР мав серцевий індекс (CI): із ЧСС –  $r=-0,79$ ; із показниками, що характеризують ступінь вираженості дихальної аритмії: RMSSD –  $r=0,68$ , pNN50 % –  $r=0,93$ , HF –  $r=0,8$ ; із показниками, які різною мірою свідчать про рівень вегетативного балансу: Мо –  $r=0,91$ , Амo –  $r=-0,54$ , МxDMn –  $r=0,67$ , PAPR –  $r=-0,6$ , а також із показником, що характеризує ступінь надсегментарних впливів на ритм серця – VLF –  $r=-0,63$ . Велику кількість зв'язків вище від середньої

й високої сили мали також дані CO й САТ, особливо з параметрами, які характеризують сумарний показник варіабельності SDNN; спектральні характеристики VLF, LF, HF і симпато-вагальний індекс LF/HF. У спортсменів НК після ФН СІ мав кореляційні зв'язки лише з показниками, які відображають ступінь централізації керування синусовим вузлом: VLF -  $r=0,67$ , LF -  $r=-0,53$  і величиною Мо -  $r=-0,514$  і ЧСС -  $r=0,66$ . Тобто дані ЦГД, які характеризують насосну функцію серцевого м'яза в спортсменів ВК, виявляли позитивні кореляційні зв'язки з параметрами, що характеризують активність автономного контуру: RMSSD, рNN50 %, HF і параметрами, які відображають стабілізаційний ефект вазомоторного центра: Мо, МхDMп, а негативні зв'язки – із показником, який характеризує вплив зі сторони надсегментарних рівнів (VLF). У спортсменів ВК між СІ і показниками, які відображають активність симпатичної ланки регуляції (LF) та її стабілізаційний ефект на автономний контур (Мо) простежено негативний кореляційний зв'язок, а з показником VLF, який характеризує надсегментарні впливи на автономний контур, – позитивний. Оскільки в спортсменів ВК потужність VLF-хвиль після ФН залишалася високою, тобто зменшувалася незначно, то показники насосної функції крові в цих спортсменів при ФН були значно вищі, ніж у спортсменів НК, у яких потужність VLF-спектра зменшувалася більше ніж у три рази.

**Дискусія.** Результати проведених досліджень свідчать про відмінності адаптаційних процесів у спортсменів різної кваліфікації в системі кровообігу, які проявляються відомою з літератури в основному для стаєрів [1; 5; 16] економізацією функцій у стані спокою; різною реакцією параметрів ССС на граничне ФН і при відновленні; переважанням різних ієрархічних впливів на регуляцію роботи серця.

У спортсменів ВК адаптація системи кровообігу характеризується посиленням інотропної функції серця (зростанням УО й, відповідно, УІ при меншому індексі напруження міокарда,  $p < 0,05$ ); у спортсменів НК – навпаки, посиленням хронотропної функції серця (зростання ЧСС – на 15 % більше,  $p < 0,01$ ). Отже, одним із маркерних показників адекватності ФН може бути величина УО, а отже, і УІ, а оскільки при проведенні кореляційного аналізу встановлено, що показник УО мав велику кількість зв'язків вищої від середньої й високої сили із сумарним показником варіабельності SDNN; спектральними характеристиками VLF, LF, HF і симпато-вагальним індексом LF/HF, то величина й напрям змін цих параметрів також можуть бути критеріями адекватності ФН до функціонального стану спортсмена чи людини, які й дозують та моніторять величину ФН.

На користь економізації кровообігу свідчили нижчі показники КЕК (на 17,8 %,  $p < 0,05$ ), ІР (на 9,36 %,  $p < 0,05$ ) та СІ ( $p < 0,05$ ) у спортсменів ВК, що вказувало на вищий їх адаптаційний потенціал і рівень функціональних резервів серця. Показник СІ виявив тісні кореляційні зв'язки з параметрами ВРС, які відображають ступінь централізації керування синусовим вузлом протилежної спрямованості в спортсменів різної кваліфікації (позитивні в НК і негативні у ВК із показниками, які відображають активність симпатичної ланки регуляції (LF), та зворотні з показником VLF, що характеризує надсегментарні впливи на автономний контур).

Аналогічно високі кореляційні зв'язки виявилися й у показників СО та САТ із параметрами ВРС, зокрема, які характеризують загальну потужність спектра варіабельності ритму (SDNN) і баланс симпато-вагальних впливів на серце (LF/HF). Отже, показники САТ, КЕК, КВ та ІР, а особливо СІ й СО, які широко використовуються різними авторами для характеристики серцевої діяльності [5, 12, 16], можуть загалом слугувати маркерами адекватності ФН, котрі є достатньо інформативними, оскільки мають найтісніші кореляційні зв'язки з показниками продуктивності роботи серця й параметрами різних рівнів регуляції серцевих скорочень, а крім того, також можуть бути достатньо просто обчислені без використання складної апаратури.

Потрібно зазначити, що особливо інформативними стають характеристики цих показників під час вивчення в трьох станах – у спокої, ФН (стандартних) та при відновленні, що на практиці доведено нашими багаторічними дослідженнями під час моніторингу величини ФН у процесі фізичного виховання школярів і студентів; у тренувальному процесі спортсменів; у реабілітаційних програмах для хворих [12]. У якості навантажень найзручніше використовувати методики з найпростішим способом задавання стандартних навантажень (наприклад тест Мартіне-Кушелевського). Застосування його в процесі вимірювання параметрів роботи ССС є обов'язковим на кожному етапі досліджень із вимірюванням показників у всіх трьох станах для їх порівняння з відповідними станами попереднього й наступного етапів досліджень. Тенденція до зниження показників у кожному стані при черговому вимірюванні буде свідчити про застосування в процесі фізичного виховання, спортивних тренувань чи реабілітаційних заходів, адекватних ФН.

Для підтвердження цього бачимо, що в спортсменів НК за всіма показниками ЦГД і ВСР відзначено вищий рівень недовідновлення ( $p < 0,05$ ), що свідчить про виражену неадекватну реакцію організму на надмірні ФН, оскільки недовідновлення за окремими показниками, що характеризують насосну функцію серця, становили близько 59 % ( $p < 0,01$ ), що узгоджується з поведінкою показника КВ і свідчить про ослаблення сили серця й зрив адаптації (рис. 1 і 2).

Лише відмінності між групами спортсменів за індексом централізації та стрес-індексом суперечать літературним даним, оскільки зростання індексу централізації, яке спостерігали в спортсменів ВК, багатьма авторами розглядається як висока фізіологічна «ціна адаптації» [3, 18, 20]. Водночас у спортсменів ВК такий тип регуляції серцевим ритмом не може характеризуватися як підвищення фізіологічної «ціни адаптації», оскільки зростання ІС не супроводжувалось у них зниженням частки спектра HF-хвиль у складову загального спектра. Окрім того, у спортсменів ВК, порівняно зі спортсменами НК, був нижчий SI (на 36 %), який характеризує напруження регуляторних механізмів, а також простежено тенденцію до зменшення всіх індексів (похідних часових характеристик: IVR, VPR і P APR), котрі вказують на адекватність процесів регуляції й свідчать, що вегетативний баланс зміщений у бік переважання парасимпатичної регуляції.

Оскільки з літератури відомо, що зростання після навантаження SI та ІС, а також збільшення потужності VLF-хвиль розцінюється як зрив адаптаційних процесів і зниження функціонально-метаболічного резерву, то відзначимо, що таке трактування трапляється в роботах, автори яких лише констатують факт різкого зростання цих даних після значних ФН. Це розцінюється ними як напруга й зрив адаптації, бо при цьому зростає роль надсегментарних впливів на автономний контур регуляції серцевої діяльності [3, 16, 20].

Поряд із тим, на думку інших авторів, потужність VLF-коливань ВСР є чутливим індикатором керування метаболічними процесами, який відображає енергодефіцитні стани [16]. Зміни потужності спектра в VLF-діапазоні в спортсменів ВК може відображати мобілізацію енергетичних і метаболічних резервів в екстремальних умовах. За збільшення потужності VLF-коливань у спортсменів ВК у відповідь на надмірні ФН можемо говорити про гіперадаптивну реакцію, а за зниження (у спортсменів НК) – про постнавантажувальний енергодефіцит. Водночас під час використання показників SI та ІС і даних потужності VLF-хвиль для дозування й моніторингу величини ФН треба притримуватися думки більшості авторів [3; 4; 16; 20], згідно з якою суттєве зростання таких показників свідчить про зрив адаптаційних процесів, що розцінюємо як неадекватність ФН для осіб, котрі займаються фізичною культурою, а тим більше – проходять реабілітацію. Різде зростання показників SI й ІС і потужності VLF-хвиль у спортсменів указує на високий ступінь їх адаптації до фізичних перевантажень із можливістю їхнього організму досконаліше керувати метаболічними процесами за умов енергодефіцитних станів і є для них показниками рівня тренуваності.

**Висновки.** Отже, найчутливіші показники ВРС, які характеризують загальну потужність спектра варіабельності ритму, ступінь вираженості дихальної аритмії, свідчать про рівень вегетативного балансу й надсегментарних впливів, можуть указувати на адекватність навантажень під час дослідження параметрів варіабельності за умов тривалого їх моніторингу впродовж великих проміжків часу, особливо з їх фіксуванням у трьох станах (спокою, при ФН і відновленні).

Діагностувати адекватність реакції організму на ФН, оцінити адаптаційні можливості та функціональні резерви ССС можна за зміною показників ЦГД: ЧСС, серцевого індексу (CI), хвилинного об'єму крові (ХОК), роботи (РЛШ) і потужності (W) лівого шлуночка, швидкості вигнання крові (Ve), коефіцієнта економічності кровообігу (КЕК), індексу Робінсона (IP) та коефіцієнта витривалості (KB) і використовувати їх для підбору й моніторингу величини адекватних ФН за умов тривалого часу використання, а також їх фіксування в трьох станах (спокої, при ФН і відновленні). Перевага цих показників у тому, що значна їх частина досить просто вимірюється й розраховується та не потребує складної апаратури, що робить їх доступними для широкого використання, особливо у фізичному вихованні й реабілітації.

У той час, як найточнішими маркерами адекватності реакції організму на впливи екстремальних навантажень можуть бути показники ударного об'єму (УО), ударного індексу (УІ) та індексу напруження міокарда (ІНМ), оскільки вони по-різному змінювались у спортсменів високої й низької кваліфікацій і при ФН, і в період відновлення ( $P < 0,05$ ), що чітко вказувало на напругу адаптації у ССС.

#### Джерела та література

1. Абзалов Р. А., Павлова О. И. Показатели ударного объема крови у спортсменов разного возраста и спортивной квалификации. *Теория и практика физической культуры*. 1997. № 4. С. 8–10.

2. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. [и др.]. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации). *Вестник аритмологии*. 2001. № 24. С. 65–87.
3. Бернада В. В. Особливості стану вегетативної регуляції функцій у молодих здорових осіб з різною швидкістю обробки інформації. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Біологія*. 2006. Вип. 16. С. 180–184.
4. Variability of heart rate. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Санкт-Петербург: АОЗТ Ин-т кардиологической техники, 2000. 64 с.
5. Власенко О. В., Гунас І. В., Шеремета Р. О., Рокунець І. Л. Показники кінцевого діастолічного і систолічного об'ємів лівого шлуночка, ударного й хвилинного об'єму серця, фракції викиду та ударного й серцевого індексів у здорових чоловіків і жінок Поділля за даними ехокардіографії. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. 2014. Т. 18, № 2. С. 461–465.
6. Горобей М. П., Осадчий О. В. Загальна теорія здоров'я: навч. посіб. для студентів напряму підготовки 6.010203 «Здоров'я людини» та спец. 227 «Фізична реабілітація», 227 «Фізична терапія, ерготерапія». Чернігів: ЧНТУ, 2017. 210 с.
7. Коритко З. І. Метаболічний аспект особливостей компенсаторно-приспосувальних процесів у легкоатлетів-бігунів різної кваліфікації за умов граничних фізичних навантажень. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. 2011. № 1. С. 57–61.
8. Коритко З. І. Нові погляди на механізми розвитку стадій загальноадаптаційного синдрому за умов дії граничних фізичних навантажень. *Світ медицини і біології*. 2013. № 4(41). С. 107–112.
9. Коритко З. І. Особливості регуляторних механізмів серця у формуванні перехідних адаптаційно-компенсаторних станів за умов граничних фізичних навантажень. *Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія*. 2011. № 3. С. 66–72.
10. Коритко З. І. Адаптаційні зміни кисневозалежного енергетичного обміну у бігунів різної кваліфікації за умов граничних фізичних навантажень. *Вісник проблем біології і медицини*. 2011. Вип. 3. Т. 1(87). С. 133–137. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vpbm\\_2011\\_3%281%29\\_\\_35](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vpbm_2011_3%281%29__35)
11. Коритко З. І. Вплив гострого фізичного перевантаження на стан систем гемостазу та імуногенезу. *Експериментальна та клінічна фізіологія*. 1995. С. 182–185.
12. Леськів І. Я., Коритко З. І., Мисаковець О. О. Адаптаційний потенціал та функціональні резерви кровообігу студентів з різним видом рухової активності. *Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія*. 2013. № 3. С. 77–84.
13. Мазур В. А., Скавронський О. П. Вплив рухової активності на організм людини. *Вісник Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Фізичне виховання, спорт і здоров'я людини*. 2016, Вип. 9. С. 256–264. URL: <https://doi.org/10.32626/2309-8082.2016-0.%p>
14. Михалюк Є. Л., Сиволап В. В., Ткаліч І. В., Чечель М. М. Центральна гемодинаміка, варіабельність серцевого ритму та фізична працездатність у спортсменів високого класу, що розвивають фізичні якості швидкості й сили. *Проблеми фізичного виховання і спорту*. 2009. № 12. С. 122–125. URL: <https://www.sportpedagogy.org.ua/html/journal/2009-12/09melqqf.pdf>
15. Рябуха О., Будзин В. Смерть учнів на уроках фізичної культури: аналіз причин. *Молода спортивна наука України*. 2016. Т. 2. С. 171–174.
16. Флейшман А. Н. Медленные колебания гемодинамики. Новосибирск. 1999. 264 с.
17. Чорненька Г. В. Денна динаміка показників частоти серцевих скорочень студентів-першокурсників ЛДУФК. *Спортивна наука України*. 2017. № 2. С. 32–36. URL: <http://www.sportscience.org.ua/index.php/Arhiv.html>
18. Aubert, A. E., Seps, B., Beckers, F. Heart Rate Variability in Athletes. *Sports Med*. 2003. V. 33(12). P. 889–919. URL: <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00003>
19. Conconi F., Ferrari M., Ziglio P.G., Droghetti P., Codeca L.: Determination of the anaerobic threshold by a non invasive field test in runners. *Journal of Applied Physiology*. 1982. 52. P. 869–873.
20. Korytko Zoryana, Eduard Kulitka, Halyna Chornenka, Vasyl Zachidnyy Use of integral hematological indices for diagnostics of athletes adaptive processes *Journal of Physical Education and Sport*. 2019. Vol. 19. Art 32. P. 214–218. URL: <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/23475>.
21. Otto F. Barak., Oleg S. Glazachev, Helena N. Dudnik [et al.] Peculiarities of the autonomic balance assessed through heart rate variability analysis in sportsmen and nonsportsmen. *Збірник Матице српске за природне науке/Proc. Nat. Sci, Matica Srpska Novi Sad*. 2008. № 114. P. 17–25. <https://doi.org/10.2298/ZMSPN0814017B>
22. Rietjens GJ, Kuipers H, Adam JJ [et. al.] Physiological, biochemical and psychological markers of strenuous training-induced fatigue. *J Sports Med*. 2005. V. 26. P. 1626. <https://doi.org/10.1055/s-2004-817914>

#### References

1. Abzalov, R. A., Pavlova, O. Y. (1997). Pokazately udarnoho ob"ema krovy u sport-smenov raznoho vozrasta u spo-rtyvnoy kvalyfykatsyy [Indicators of stroke volume of blood in athletes of different ages and sports qualifications]. *Teoryya y praktyka fizycheskoy kul'tury*, 4, 8–10.



2. Baevskyy, R. M., Yvanov, H. H., Chyreykyn, L. V. [y dr.] (2001). Analiz varyabel'nosti serdechnoho rytma pry yspol'zovanny razlychnykh élektrokardyohtafycheskykh system (metodycheskye rekomendatsyy) [Analysis of heart rate variability when using different electrocardiographic systems (methodical recommendations)]. *Vestn. arytmolohyy*, 24, 65–87.
3. Bernada, V. V. (2006). Osoblyvosti stanu vehetatyvnoyi rehulyatsiyi funktsiy u molodykh zdorovykh osib z riznoyu shvydkystyu obrobky informatsiyi [Peculiarities of the state of vegetative regulation of functions in young healthy individuals with different speed of information processing]. *Naukovyy visnyk Uzhhorods'koho universytetu, seriya «Biolohiya»*, 16, 180–184.
4. Varyabel'nost' serdechnoho rytma (2000). Standarty yzmerenyya, fyziolohycheskoy ynterpretatsyy y klynycheskoho yspol'zovannya [Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use]. Sankt-Peterburg: AOZT Ynstytut kardyolohycheskoy tekhniky, 64.
5. Vlasenko, O. V., Hunas, I. V., Sheremeta, R. O., Rokunets', I. L. (2014). Pokaznyky kintsevoho diastolichnoho i systolichnoho ob'yemiv livoho shlunochka, udarnoho y khvylynnoho ob'yemu sertsya, fraktsiyi vykydu ta udarnoho y sertsevoho indeksiv u zdorovykh cholovikiv i zhinok Podillya za danymy ekhokardiohtafiyi [Indicators of end-diastolic and systolic volumes of the left ventricle, stroke and cardiac output, ejection fraction and stroke and heart indices in healthy men and women of Podillya according to echocardiography]. *Visnyk Vinnyts'koho natsional'noho medychnoho universytetu*, 2, 18, 461–465.
6. Horobey, M. P. Osadchyy, O. V. (2017). Zahal'na teoriya zdorov'ya: navchal'nyy posibnykdlya studentiv napryamu pidhotovky 6.010203 «Zdorov'ya lyudyny» ta spetsial'nostey 227 «Fizychna reabilitatsiya», 227 «Fizychna terapiya, erhoterapiya» [General theory of health: a textbook for students in the field of training 6.010203 «Human Health» and specialties 227 «Physical Rehabilitation», 227 «Physical Therapy, Occupational Therapy»]. Chernihiv: CHNTU, 210.
7. Korytko, Z. I. (2011). Metabolichnyy aspekt osoblyvostey kompensatorno-prystosuval'nykh protsesiv u lehkotativ-bihuniv riznoyi kvalifikatsiyi za umov hranychnykh fizychnykh navantazhen' [Metabolic aspect of the features of compensatory-adaptive processes in athletes-runners of different qualifications under conditions of extreme physical activity]. *Zdobutky klinichnoyi i eksperymental'noyi medytsyny*, 1, 57–61.
8. Korytko, Z. I. (2013). Novi pohlyady na mekhanizmy rozvytku stadiy zahal'noadaptatsiynoho syndromu za umov diy hranychnykh fizychnykh navantazhen' [New views on the mechanisms of development of stages of general adaptation syndrome under the conditions of extreme physical activity]. *Svit medytsyny i biolohiyi*, 4(41), 107–112.
9. Korytko, Z. I. (2011). Osoblyvosti rehulyatornykh mekhanizmiv sertsya u formuvanni perekhidnykh adaptatsiyno-kompensatornykh staniv za umov hranychnykh fizychnykh navantazhen' [Peculiarities of regulatory mechanisms of the heart in the formation of transitional adaptive-compensatory states under conditions of extreme physical activity]. *Eksperymental'na ta klinichna fiziolohiya i biokhimiya*, 3, 66–72.
10. Korytko, Z. I. (2011). Osoblyvosti rehulyatornykh mekhanizmiv sertsya u formuvanni perekhidnykh adaptatsiyno-kompensatornykh staniv za umov hranychnykh fizychnykh navantazhen' [Peculiarities of regulatory mechanisms of the heart in the formation of transitional adaptive-compensatory states under conditions of extreme physical activity]. *Eksperymental'na ta klinichna fiziolohiya i biokhimiya*, 3, 66–72.
11. Korytko, Z. I. (1995). Vplyv hostroho fizychnoho perevantazhennya na stan system hemostazu ta imunohenezu [Influence of acute physical overload on the state of hemostasis and immunogenesis system]. *Eksperymental'na ta klinichna fiziolohiya*, 182–185.
12. Les'kiv, I. YA., Korytko, Z. I., Mysakovets', O. O. (2013). Adaptatsiyyny potentsial ta funktsional'ni rezervy krovoobihu studentiv z riznym vydom rukhovoyi aktyvnosti [Adaptation potential and functional reserves of blood circulation of students with different types of motor activity]. *Eksperymental'na ta klinichna fiziolohiya i biokhimiya*, 3, 77–84.
13. Mazur, V. A., Skavrons'kyy, O. P. (2016). Vplyv rukhovoyi aktyvnosti na orhanizm lyudyny [Influence of motor activity on the human body] *Visnyk Kam'yanets'-Podil'skoho natsional'noho universytetu imeni Ivana Ohiyenka. Fizychne vykhovannya, sport i zdorov'ya lyudyny*, 9, 256–264. URL: <https://doi.org/10.32626/2309-8082.2016-0.%p>.
14. Mykhalyuk, YE. L., Syvolap, V. V., Tkalych, I. V., Chechel', M. M. (2009). Tsentral'na hemodynamika, variabel'nist' sertsevoho rytmu ta fizychna pratsezdatsnist' u sport-smeniv vysokoho klasu, shcho rozvyvayut' fizychni yakosti shvydkosti y syly [Central hemodynamics, heart rate variability and physical performance in high-class athletes who develop physical qualities of speed and strength]. *Problemy fizychnoho vykhovannya i sportu*, 12, 122–125. URL: <https://www.sportpedagogy.org.ua/html/journal/2009-12/09melqqf.pdf>
15. Ryabukha, O., Budzyn, V. (2016). Smert' uchniv na urokakh fizychnoyi kul'tury: analiz prychn [Death of students in physical education lessons: analysis of reasons]. *Moloda sportyvna nauka Ukrainy*, 2, 171–174.
16. Fleyshman, A. N. (1999). Medlennye kolebannya hemodynamiky [Slow oscillations of hemodynamics]. Novosybyrsk, 264.
17. Chornen'ka, H. V. (2017). Denna dynamika pokaznykiv chastyoty sertsevykh skorochen' studentiv-pershokursnykiv LDUFK [Daily dynamics of heart rate indicators of first-year students of LDUFK]. *Sportyvna nauka Ukrainy*, 2, 32–36. URL: <http://www.sportscience.org.ua/index.php>

18. Aubert, A. E., Seps, B., Beckers, F. (2003). Heart Rate Variability in Athletes. *Sports Med*, 33(12), 889–919. URL: <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00003>
19. Conconi, F., Ferrari, M., Ziglio, P. G., Droghetti, P., Codeca, L. (1982). Determination of the anaerobic threshold by a non invasive field test in runners. *Journal of Applied Physiology*, 52, 869–873.
20. Korytko, Zoryana, Kulitka, Eduard, Chornenka, Halyna, Zachidnyy, Vasyl (2019). Use of integral hematological indices for diagnostics of athletes adaptive processes. *Journal of Physical Education and Sport*, 19, 32, 214–218. URL: <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/23475>.
21. Barak, Otto F., Glazachev, Oleg S., Dudnik, Helena N. [et al.] (2008). Peculiarities of the autonomic balance assessed through heart rate variability analysis in sportsmen and nonsportsmen. *Збірник Матице српске за природне науке/Proc. Nat. Sci, Matica Srpska Novi Sad*, 114, 17–25. DOI: 10.2298/ZMSPN0814017B
22. Rietjens, G. J., Kuipers, H., Adam, J. J. [et. al.] (2005). Physiological, biochemical and psychological markers of strenuous training-induced fatigue. *J Sports Med*, 26, 16–26. URL: <https://doi.org/10.1055/s-2004-817914>

Стаття надійшла до редакції 21.05.2020 р.