

УДК 612.017.2+612.172

О. М. Лисенко, д-р біол. наук

ФІЗИЧНА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КВАЛІФІКОВАНИХ СПОРТСМЕНІВ І ОСОБЛИВОСТІ ВЕГЕТАТИВНОЇ РЕГУЛЯЦІЇ СЕРЦЕВОГО РИТМУ

Науково-дослідний інститут

Національного університету фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

УДК 612.017.2+612.172

О. М. Лисенко

ФІЗИЧНА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КВАЛІФІКОВАНИХ СПОРТСМЕНІВ І ОСОБЛИВОСТІ ВЕГЕТАТИВНОЇ РЕГУЛЯЦІЇ СЕРЦЕВОГО РИТМУ

Науково-дослідний інститут

Національного університету фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

Стаття присвячена дослідженню особливостей вегетативної регуляції серцевого ритму у кваліфікованих спортсменів та її взаємозумовленість з характеристиками реакції кардіореспіраторної системи, проявами фізичної працездатності.

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

UDC 612.017.2+612.172

O. M. Lysenko

PHYSICAL CAPACITY OF SKILLED ATHLETES AND HEART RATE VEGETATIVE REGULATION FEATURES

Scientific Research Institute of National University of Physical Education and Sport of Ukraine, Kiev, Ukraine

The present article deals with research of the heart rate features regulation in skilled athletes and its interconditionality with characteristics of cardiorespiratory system response, manifestations of physical work capacity.

Key words: skilled athletes, heart rate variability, physical loads.

Вегетативна регуляція є важливою ланкою в адаптації організму людини до мінливих умов зовнішнього та внутрішнього середовища. Одним з найбільш доступних та інформативних методів оцінки функціонального стану серцево-судинної системи (ССС) та її регуляторних механізмів є методи математичного аналізу варіабельності серцевого ритму (СР), які успішно використовуються у клінічній та експериментальній практиці для оцінки функціонального стану організму, визначення ступеня адаптації [1; 2; 4; 5]. Вважають, що основні характеристики варіабельності СР є реакцією організму на різні подразники і найбільш важливими маркерами активності вегетативної нервової системи (ВНС), інтегрованими показниками взаємодії рефлексорних механізмів (симпатичного, парасимпатичного) і гуморального середовища, а також відображають «фізіологічну ціну» досягнення соціально значущих результатів [1; 2; 5; 10].

Вивчення механізмів регуляції діяльності ССС, від якої багато в чому залежить ефективність спортивної діяльності, залишається актуальним в оцінці шляхів адаптації організму спортсмена до різних за обсягом та інтенсивністю тренуваль-

них навантажень. Незважаючи на збереження гомеостазису, адаптивне урівноваження організму з середовищем відбувається за рахунок зростання напруження механізмів регуляції. Активність керуючих систем, що необхідна для підтримання відповідного рівня функціонування організму або для його переходу на інший рівень, більш адекватний умовам середовища, визначається за ступенем напруження регуляторних механізмів адаптації. Ступінь їх напруження — це «ціна» адаптації, а рівень функціонування — це результат адаптації [10].

Результати аналізу варіабельності серцевого ритму використовуються в спортивній медицині та практиці контролю процесу спортивної підготовки спортсменів для розв'язання таких завдань: 1) оцінка функціонального стану спортсменів з метою корекції їх тренувального процесу; 2) прогнозування функціонального стану спортсменів; 3) розпізнавання механізмів порушення функціонального стану та перенапруження спортсменів для цілеспрямованого терапевтичного впливу з метою реабілітації та лікування; 4) оцінка функціонального стану спортсменів безпосередньо в умовах спортивної діяльності

або при проведенні функціональних проб в лабораторних умовах.

Сьогодні наукові дослідження змін функціонального стану людини із застосуванням методів аналізу варіабельності СР містять досить суперечливу інформацію стосовно оцінки процесу адаптації організму до фізичних навантажень різного характеру або до дії інших зовнішніх факторів середовища.

Мета дослідження — вивчення особливостей прояву фізичної працездатності висококваліфікованих спортсменів залежно від їх вегетативної регуляції серцевого ритму; розробка критеріїв оцінки адаптації організму висококваліфікованих спортсменів до тренувального процесу за даними математичного аналізу варіабельності серцевого ритму.

Матеріали та методи дослідження

Дослідження проводили на експериментальній базі лабораторії теорії та методики спортивної підготовки й резервних можливостей спортсменів НДІ Національного університету фізичного виховання і спорту України за участі 178 висококваліфікованих спортсменів, які спеціалізувалися у веслуванні на байдарках і каное, баскетболі, легкій атлетичі, хокеї.

Вивчалися прояви працездатності спортсменів і реакція кардіореспіраторної системи (КРС) на максимальні фізичні навантаження, які використовувалися для визначення загальної фізичної працездатності та функціональних можливостей організму спортсменів. Фізична робота зі ступінчасто зростаючою потужністю виконувалася до моменту вольової втоми на тредмілі LE-200 С (Німеччина). Визначали максимальний рівень споживання O_2 (VO_{2max}) і «критичну» потужність ($W_{кр}$) роботи [10]. Реакцію організму на тестові фізичні навантаження оцінювали за допомогою ергоспірометричного комплексу “Oxycan Pro” (“Jaeger”, Німеччина). Для визначення концентрації лактату в крові (HLa) у відновному періоді проводили взяття крові у капіляр із розігрітого пальця (ензиматичний метод, Dr. Lange-420, Німеччина).

Для дослідження вегетативної регуляції серцевої діяльності використовували математичні методи аналізу варіабельності серцевого ритму [1; 2; 8; 9]. Запис сигналу (“Cardiotest”, ДХ-системи, Харків) здійснювали протягом 5 хв у положенні лежачи після 5-хвилинного відпочинку і протягом 5 хв відновного періоду після виконання комплексу тестових фізичних навантажень. Подальша обробка кардіоінтервалів дозволила провести аналіз гістограм та визначити низку статистичних характеристик варіабельності СР: математичне очікування (M , с), моду (M_0 , с), варіаційний розмах (ΔRR , с), амплітуду моди (AM_0 , %), індекс напруження (IN , ум. од.) [1; 8; 9].

Аналіз й оцінку періодичних компонентів СР здійснювали шляхом дослідження спектральних показників у трьох діапазонах [4]: 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 СР (частота 0,003–0,4 Гц). Розраховували відносну частку дисперсії дихальних хвиль у відсотках від загальної дисперсії (HF %), відносну частку дисперсії повільних хвиль 1-го порядку (LF %) і 2-го порядку (VLF %), а також потужність у діапазоні високих (HFn) і низьких частот (LFn), що виражені в нормалізованих одиницях (nu), індекс централізації (IC) [2], відношення середніх значень низькочастотного і високочастотного компонентів СР (LFav/HFav) [2; 4; 6–9].

Статистичне опрацювання результатів проводили на IBM PC/XT із використанням пакета стандартних статистичних програм “Microsoft Excel” з визначенням основних статистичних показників.

Результати дослідження та їх обговорення

Отримано статистичні характеристики різних типів вегетативної регуляції серцевого ритму в стані відносного спокою, що виділені у кваліфікованих спортсменів з урахуванням загальноприйнятих рекомендацій [3; 12] (табл. 1). Оптимальне співвідношення тону парасимпатичного і симпатичного відділів ВНС у регуляторних механізмах адаптації характеризує *нормотонічний тип* регуляції СР з варіаційним розмахом ($0,397 \pm 0,090$) с і AM_0 ($29,66 \pm 2,45$) %. Оптимальне співвідношення відносної частки дисперсії дихальних і повільних хвиль у загальній дисперсії СР ($24,75$ – $41,78$ %), а також інші характеристики спектрального аналізу серцевого ритму (табл. 2) свідчать про те, що досягнутий рівень функціонування фізіологічних систем ($ЧСС = (61,01 \pm 3,45)$ уд.·хв⁻¹) забезпечується при найбільш оптимальній активації центральних механізмів регуляції та рівні енерговитрат організмом ($IN = (39,08 \pm 2,73)$ ум. од.), а оптимальне поєднання принципів централізації й автономності управління забезпечує максимальні адаптаційні можливості організму спортсменів при його взаємодії з навколишнім середовищем.

Переважає вплив парасимпатичного відділу ВНС у регуляції ($\Delta RR = (0,571 \pm 0,150)$ с; $CV = (9,26 \pm 2,46)$ %) на фоні дещо зниженої симпатичної активності ($AM_0 = (23,21 \pm 3,21)$ %) відображає *ваготонічний тип* регуляції СР, що свідчить про переважання автономного контуру в регуляції та ослабленні центральних впливів [1; 12], що є доцільним з точки зору економізації серцевої діяльності ($IN = (19,85 \pm 3,21)$ ум. од.). За результатами

Статистичні характеристики варіабельності серцевого ритму
в стані відносного спокою у спортсменів із різним типом регуляції серцевого ритму, $M \pm SD$

| Показник | Тип регуляції | | |
|---|--------------------------|---------------------|--------------------|
| | Симпатико-тонічний, n=35 | Нормотонічний, n=64 | Ваготонічний, n=79 |
| Мінімальна тривалість кардіоциклу ($R-R_{\min}$), с | 0,735±0,070## | 0,814±0,070 | 0,805±0,014 |
| Максимальна тривалість кардіоциклу ($R-R_{\max}$), с | 1,061±0,080 | 1,210±0,100 | 1,374±0,190* |
| Математичне очікування (M), с | 0,899±0,050## | 1,002±0,080 | 1,072±0,080 |
| Мода (Mo), с | 0,915±0,060## | 1,002±0,100 | 1,048±0,090 |
| Амплітуда моди (AMo), % | 38,48±4,89 | 29,66±2,45 | 23,21±3,21* |
| Варіаційний розмах значень RR-інтервалів (ΔRR), с | 0,328±0,050 | 0,397±0,090 | 0,571±0,150* |
| Коефіцієнт варіації (CV), % | 6,01±0,36 | 7,31±0,04 | 9,26±2,46# |
| Індекс напруження (ІН), ум. од. | 65,22±3,14 | 39,08±2,73 | 19,85±3,21* |
| Частота серцевих скорочень (ЧСС), xv^{-1} | 67,76±4,61 | 61,01±3,45 | 56,66±4,03# |

Примітка. * — вірогідні відмінності для всіх груп, $p < 0,05$; # — вірогідні відмінності 3-ї групи з 1-ю та 2-ю групами, $p < 0,05$; ## — вірогідні відмінності 1-ї групи з 2-ю та 3-ю групами, $p < 0,05$.

Таблиця 2

Спектральний аналіз варіабельності серцевого ритму в стані відносного спокою
у спортсменів із різним типом регуляції серцевого ритму, $M \pm SD$

| Показник | Тип регуляції | | |
|--|--------------------------|---------------------|--------------------|
| | Симпатико-тонічний, n=35 | Нормотонічний, n=64 | Ваготонічний, n=79 |
| Загальна потужність серцевого ритму (TP), mc^2 | 7835±672 | 15759±1616 | 27369±3414* |
| Потужність дихальних коливань (HF), mc^2 | 1445±151 | 3929±350 | 11034±802* |
| Потужність повільних коливань 1-го порядку (LF), mc^2 | 3176±132 | 5790±529 | 7552±754* |
| Потужність повільних коливань 2-го порядку (VLF), mc^2 | 3227±387 | 6012±404 | 8752±596* |
| Відносна частка потужності дихальних коливань у відсотках від загальної потужності, HF % | 19,74±1,29 | 24,75±2,01 | 40,88±4,18# |
| Відносна частка потужності повільних коливань 1-го порядку у відсотках від загальної потужності, LF % | 40,26±1,77 | 33,83±2,16 | 27,71±3,98* |
| Відносна частка потужності повільних коливань 2-го порядку у відсотках від загальної потужності, VLF % | 40,24±2,16 | 41,75±2,59 | 31,22±2,17# |
| Потужність у діапазоні високих частот у нормалізованих одиницях (HF _n), nu | 31,62±2,12 | 41,64±2,21 | 57,73±3,59* |
| Потужність в діапазоні низьких частот у нормалізованих одиницях (LF _n), nu | 68,75±3,79 | 58,03±3,12 | 42,01±3,90* |
| Індекс централізації (IC), ум. од. | 6,95±0,61 | 4,72±0,29 | 1,83±0,19* |
| Відношення середніх значень низькочастотного і високочастотного компонентів, LF/HF | 3,17±0,17 | 2,01±0,07 | 0,81±0,05* |

Примітка: * — вірогідні відмінності для всіх груп, $p < 0,05$; # — вірогідні відмінності 3-ї групи з 1-ю та 2-ю групами, $p < 0,05$.

спектрального аналізу СР (див. табл. 2), при ваготонічному типі регуляції СР, порівняно з нормотонічним типом, відзначається в 2,81 разу вища активність коливань СР як у діапазоні високих частот (HF_{av}), так і в 1,37 разу в діапазоні низьких частот (LF_{av}, VLF_{av}). Зазначені співвідношення потужностей низькочастотного і високочастотного діапазонів спектрів свідчать про високу активність парасимпатичного відділу ВНС

з одночасним збільшенням активності підкіркових центрів й активності вазомоторного центру. Подібне розцінюється деякими дослідниками як компенсаторне посилення активності вищих вегетативних центрів і нейрогуморальних механізмів у регуляції СР, спрямоване на підвищення судинного тону, що і підтверджується переважанням в 1,71 разу загальної дисперсії (P) серцевого ритму у спортсменів [2; 6; 7].

Однак при ваготонічному типі регуляції СР у стані відносного спокою все-таки відносна частка дисперсії дихальних хвиль (HF %=(40,88±4,18) %) у загальній дисперсії СР достовірно вище відносно частки дисперсії повільних хвиль 1-го (LF %=(27,71±3,98) %) і 2-го (VLF %=(31,22±2,17) %) порядку. Переважання високочастотних коливань, пов'язаних з диханням, є проявом активності автономного контуру регуляції СР та переважним впливом на СР парасимпатичного відділу ВНС [7], що підтверджується і співвідношенням потужностей низької і високочастотних діапазонів спектрів, виражених у нормалізованих одиницях (див. табл. 2).

Для висококваліфікованих спортсменів із високим рівнем функціональної підготовленості характерно в стані відносного спокою нормотонічний і помірно ваготонічний тип регуляції СР. У цих групах спортсменів був зареєстрований високий (щодо всіх спортсменів) рівень максимального споживання O_2 ($VO_{2max}=70,37-80,91$ мл·кг⁻¹·хв⁻¹), який поєднувався з найбільшим за загальною групою спортсменів рівнем загальної фізичної працездатності ($W_{кр} 6,01-7,14$ Вт·кг⁻¹), найбільшою ефективністю діяльності ССС (O_2 -пульс= $(29,48±2,36)$ мл·уд.⁻¹) і метаболічних процесів ($W_{кр}/HLa=(41,14±3,79)$ Вт·ммоль⁻¹·л⁻¹) під час виконання напруженої фізичної роботи і меншою активністю анаеробних гліколітичних процесів ($HLa=(10,08±2,11)$ ммоль·л⁻¹) в енергозабезпеченні роботи.

Крім того, за результатами аналізу варіабельності СР після виконання комплексу тестових навантажень феноменом найближчого відновного періоду є напруження симпатикоадреналових механізмів адаптації й активне включення в управління кіркових структур, що характеризує підвищення активності центрального контуру регуляції СР. Порівняно з вихідним рівнем (до виконання фізичної роботи) це знаходить своє відображення у зниженні величин M , M_0 , ΔRR , підвищенні AM_0 , IN , а також у зниженні коливань СР в області високих частот (HF_{av}) при одночасному посиленні коливань у низькочастотному діапазоні (LF_{av}), що може свідчити про підвищення загального рівня напруженості функціонування ССС і посилення централізації управління як адекватної реакції на тестові впливи. Це, очевидно, пов'язане з тим, що під час функціональних проб знижується контроль за діяльністю серця з боку парасимпатичного відділу при одночасному посиленні участі симпатичного відділу ВНС у регуляції СР, а також підвищується активність стовбурового кардіоваскулярного осцилятора і барорефлекторних механізмів регуляції на серце [1; 2; 6; 7; 9].

Слід зазначити, що у висококваліфікованих спортсменів, яких у стані відносного спокою вирізняють нормотонічний і помірно ваготонічний типи регуляції СР, індекс напруження на 15-й

хвилині відновлювального періоду після фізичних навантажень у більшості випадків змінювався в межах 268,26–559,28 ум. од., що свідчило про адекватні енерговитрати на підтримку досягнутого рівня функціонування ССС в умовах напруженої м'язової діяльності та про задовільну адаптацію організму спортсменів до тренувальних навантажень.

У деяких випадках прогностично несприятливим для спортсменів у стані відносного спокою є виражений ваготонічний характер регуляції СР, який вказує на значне посилення процесу авторегуляції у поєднанні зі зниженням ролі центрального контуру в управлінні СР, який є джерелом коригувальних впливів на синусовий вузол через автономний контур регуляції, що може призвести до неузгодженості в системі «синусовий вузол — вегетативна нервова система» [2]. За даними дослідників [3; 11; 12], це свідчить про знижений рівень функціонування ССС, а також про наявність початкових ознак перевтоми, слідом за якими з'являються патологічні зміни. Так, у спортсменів з даним типом регуляції СР було зареєстровано різке збільшення загального рівня напруження в регуляції СР на 15-й хвилині відновного періоду, виражене посилення тону симпатичного відділу ВНС: ΔRR знизився до 0,02–0,14 с, IN збільшився до 791,69 ум. од. і більше. Тому виражений ваготонічний тип регуляції СР у стані відносного спокою потребує більш пильного вивчення динаміки досліджуваних показників під впливом тренувального процесу і стандартних навантажень для виявлення ранніх порушень у регуляторних механізмах адаптації, що дозволяє за допомогою своєчасної корекції тренувального режиму та відновних заходів запобігти несприятливим зрушенням вегетативного гомеостазису.

Симпатикотонічний тип регуляції СР відображає домінування симпатичного відділу ВНС у регуляції та свідчить про підвищену активність центральних механізмів управління (знижується ΔRR — $(0,328±0,050)$ с; збільшується AM_0 — $(43,30±4,89)$ %). Більша активність коливань СР (див. табл. 2) в області низьких частот (LF %= $(40,26±1,77)$ %; VLF %= $(40,24±2,16)$ %) і менша активність коливань СР в області високих частот (HF %= $(19,74±1,29)$ %) характеризує менш економний тип регуляції, що потребує підвищених енергетичних витрат ($IN=(65,22±3,14)$ ум. од.) на підтримку досягнутого рівня функціонування організму ($ЧСС=(67,76±4,61)$ уд.·хв⁻¹) і свідчить, що в синусовому вузлі функціонує мала кількість клітин, здатних забезпечувати лише занадто стабільний ригідний ритм, характерний для серця з недостатніми функціональними адаптаційними можливостями [2; 4; 6; 8; 9]. Низькочастотні коливання, що змінюються під впливом як симпатичного, так і парасимпатичного відділу ВНС через механізми регуляції судинного тону, від-

бражають рівень активності вазомоторного центру (LFav) [7] і середній рівень активності симпатичної ланки вегетативної регуляції (VLFav) [7–9].

Спортсмени з симпатикотонічним типом регуляції СР у стані відносного спокою можуть досягати високих рівнів загальної та спеціальної фізичної працездатності, але при цьому демонструвати менш ефективний шлях енергозабезпечення, підвищений загальний рівень напруження в регуляторних механізмах адаптації (ІН у відновному періоді в межах 679,04–1219,48 ум. од.). У більшості випадків у даній групі спортсменів відзначається середній рівень загальної фізичної працездатності ($W_{кр} 4,46–5,49 \text{ Вт}\cdot\text{кг}^{-1}$), який поєднується з середнім (щодо всіх спортсменів) рівнем максимального споживання O_2 ($VO_{2max} 54,56–67,73 \text{ мл}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{хв}^{-1}$) і ефективністю метаболічних процесів під час виконання напруженої фізичної роботи.

При вираженому переважанні активності симпатичного відділу ВНС у регуляції СР у стані відносного спокою значення RR-інтервалів знаходяться в межах 0,693–0,915 с з малим варіаційним розмахом ($\Delta RR=(0,224\pm 0,040)$ с) і більшою амплітудою M_0 ($AM_0=(50,13\pm 2,41)\%$). Ці зміни відповідають високому рівню активності симпатoadреналової системи, підвищеної синхронізації різних ланок управління і свідчать про високий загальний рівень напруження центральних регуляторних механізмів адаптації. Некономний тип регуляції потребує високого рівня енерговитрат організмом (ІН= $(151,23\pm 21,53)$ ум. од.) на підтримку досягнутого рівня функціонування (ЧСС= $(76,45\pm 2,46)$ уд.·хв⁻¹). Високий загальний рівень напруження регуляторних механізмів адаптації може бути наслідком неадекватності тренувального процесу функціональному стану спортсмена і свідчити про незадовільну адаптацію організму до тренувального процесу, а також характеризувати стан предхвороби [1]. При реєстрації подібних значень основних характеристик аналізу варіабельності СР у спортсменів у стані відносного спокою необхідно, перш за все, знизити інтенсивність і обсяг тренувальних навантажень, провести відновні заходи.

Різко виражений симпатикотонічний і ваготонічний типи регуляції СР у стані відносного спокою вказували на погіршення функціонального стану кваліфікованих спортсменів. У цих спортсменів під час тесту з фізичним навантаженням були зареєстровані найнижчі щодо інших спортсменів загальної групи рівень VO_{2max} ($VO_{2max} = 44,03–49,32 \text{ мл}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{хв}^{-1}$), а також загальний рівень фізичної працездатності ($W_{кр}=3,17–3,98 \text{ Вт}\cdot\text{кг}^{-1}$) у поєднанні з уповільненими процесами відновлення, найменшою ефективністю метаболічних процесів ($W/HLa=(17,19\pm 2,58) \text{ Вт}\cdot\text{ммоль}^{-1}\cdot\text{л}^{-1}$) та високою активністю анаеробних гліколітичних процесів ($HLa=(18,29\pm 2,19) \text{ ммоль}\cdot\text{л}^{-1}$) в енерго-

забезпеченні напруженої фізичної роботи. Серед спортсменів з різко вираженою симпатикотонією і ваготонією відзначалися випадки *неадекватної реакції організму на фізичні навантаження*: після роботи спостерігалися дискоординовані зміни основних параметрів регуляції СР (наприклад, зниження M_0 у поєднанні зі збільшенням DRR, AM_0 , ІН). Одночасне посилення тону симпатичного і парасимпатичного відділів ВНС під впливом фізичної роботи свідчить про незадовільну адаптацію організму спортсменів, що надалі супроводжується погіршенням ефективності спортивної діяльності та, в деяких випадках, з'являються ознаки перенапруження I ступеня за даними електрокардіографічних досліджень або патологічні порушення серцевого ритму (пооява екстрасистол різної етіології).

Цікаві закономірності виявлені при аналізі взаємозв'язку основних характеристик варіабельності СР з основними параметрами фізичної працездатності та реакцією КРС на фізичні навантаження. Так, для величини потужності фізичної роботи (W), а також величин функціонального діапазону за ЧСС і легеневою вентиляцією щодо максимального рівня споживання O_2 відмічається вірогідний позитивний зв'язок з показниками варіабельності СР, що характеризують підвищену активність парасимпатичного відділу ВНС у стані відносного спокою (M , M_0 , ΔRR , TP , HF , HF_n , $HF\%$), а також негативний зв'язок з показниками, що характеризують підвищену активність симпатичного каналу (AM_0 , ІН, a/v , ЧСС, LF_n , $LF\%$, $VLF\%$, ІС, LF/HF , VLF/HF) регуляції СР.

При вивченні результатів математичного аналізу варіабельності серцевого ритму перш за все звертає на себе увагу відмінність досліджуваних параметрів, що характеризують різний стан вегетативного гомеостазису і рівень загального напруження регуляторних механізмів адаптації у висококваліфікованих спортсменів у стані відносного спокою при майже *однакових величинах ЧСС* (див. табл. 1). Очевидно, ЧСС не відображає стану регуляторних систем, а є лише кінцевим підсумком регуляції та характеризує рівень функціонування систем, що склався в результаті діяльності керуючих механізмів [1; 2; 12]. Для досягнення одного і того ж кінцевого результату кожен організм витрачає неоднакові зусилля, тобто платить різну «ціну», яка визначається ступенем активації симпатичного відділу ВНС та підкіркових центрів. Для оцінки адаптації спортсменів до спортивних навантажень необхідно дослідження механізмів регуляції та ступеня напруження регуляторних систем [10]. Це дозволить прогнозувати динаміку функціональних можливостей спортсменів, важливу для своєчасної індивідуальної корекції тренувального процесу.

У табл. 3 представлені індивідуальні дані тестування кваліфікованих спортсменів із викори-

**Максимальний рівень фізичної працездатності та характеристики реакції
кардіореспіраторної системи у кваліфікованих спортсменів (індивідуальні дані)
при виконанні роботи максимальної аеробної потужності**

| Показник | Рівень фізичної працездатності спортсменів | | | | | | |
|--|--|--------|---------|--------|----------|--------|-------|
| | Високий | | | | Знижений | | |
| | Л. О. | К. Р. | Є. В. | Б. С. | Ф. С. | С. О. | П. І. |
| Потужність роботи, W, Вт·кг ⁻¹ | 3,48 | 3,45 | 3,35 | 3,33 | 2,94 | 2,83 | 2,74 |
| W/HLa, Вт·ммоль ⁻¹ ·л ⁻¹ | 17,75 | 30,80 | 28,88 | 23,96 | 18,26 | 23,98 | 23,62 |
| VO _{2max} , мл·кг ⁻¹ ·хв ⁻¹ | 55,01 | 67,65 | 50,32 | 61,91 | 53,40 | 53,04 | 63,37 |
| VO _{2max} /W, мл·хв ⁻¹ ·Вт ⁻¹ | 18,46 | 29,73 | 17,45 | 21,31 | 20,37 | 20,88 | 31,41 |
| Відновний період | | | | | | | |
| ЧСС 15 хв, уд.·хв ⁻¹ | 103,72 | 90,84 | 116,93 | 95,21 | 106,49 | 94,86 | 88,14 |
| ІН 15 хв, ум. од. | 1694,52 | 875,75 | 3809,51 | 583,78 | 2849,02 | 407,22 | 85,81 |
| HLa 3 хв, ммоль·л ⁻¹ | 19,6 | 10,2 | 11,2 | 12,5 | 13,2 | 11,8 | 10,5 |
| HLa 7 хв, ммоль·л ⁻¹ | 16,7 | 11,2 | 11,6 | 13,9 | 16,1 | 11,2 | 11,6 |
| ΔHLa, ммоль·л ⁻¹ | -2,9 | 1,0 | 0,4 | 1,4 | 2,9 | -0,6 | 1,1 |

станням максимальних фізичних навантажень. Так, наприклад, при майже однаковому рівні працездатності у двох спортсменів ($W=3,48$ та $3,45$ Вт·кг⁻¹) відмічається різний рівень загального напруження в регуляторних механізмах адаптації на 15-й хвилині відновлювального періоду після виконання комплексу тестових навантажень: ІН=1694,52 ум. од. у спортсмена Л. О. і 875,75 ум. од. у спортсмена К. Р. Отже, відмічається різний стан вегетативного гомеостазису і рівень загального напруження регуляторних механізмів у процесі досягнення певного рівня фізичної працездатності.

Більший рівень напруження під час виконання фізичної роботи у спортсмена Л. О. підтверджується і більш зниженим індивідуальним рівнем споживання O₂ — 55,00 мл·кг⁻¹·хв⁻¹ порівняно зі спортсменом К. Р., зниженим рівнем ефективності за показниками W/HLa та VO_{2max}/W, а також більшим рівнем активності анаеробних гліколітичних процесів у енергозабезпеченні (HLa на 3-й хвилині відновного періоду), більш повільним відновленням (за ЧССвідн=103,72 уд.·хв⁻¹). Таким чином, у спортсмена К. Р. майже однаковий зі спортсменом Л. О. рівень фізичної працездатності досягається за рахунок більшого розвитку аеробних можливостей і меншого внеску анаеробних гліколітичних процесів у енергозабезпечення. У спортсмена Л. О., навпаки, відмічається знижений рівень економічності функціонування, що в подальшому може обмежувати підвищення його спеціальної працездатності.

У спортсменів Ф. С., С. О. і П. І., які продемонстрували відносно групи знижений рівень фізичної працездатності (W 2,74–2,94 Вт·кг⁻¹), у відновному періоді також відмічається різна напруженість регуляторних механізмів адаптації. Крім того, у спортсменів Ф. С. і С. О. зареєстровано майже однаковий рівень максимального споживання O₂,

що супроводжується високим у спортсмена Ф. С. ІН=(2849,02) ум. од. порівняно зі спортсменом С. О., у якого відмічається оптимальний рівень напруження (ІН=407,22 ум. од.) у регуляції СР. Очевидно, зайве напруження під час виконання фізичної роботи у спортсмена Ф. С. пов'язане з підвищеним внеском в енергозабезпечення роботи анаеробних гліколітичних процесів (HLa=16,1 ммоль·л⁻¹) та зниженою швидкістю утилізації лактату (ΔHLa +2,9 ммоль·л⁻¹), що, в першу чергу, і буде в подальшому стримувати зростання рівня тренуваності спортсмена.

У спортсмена П. І. відмічається знижений рівень фізичної працездатності ($W=2,74$ Вт·кг⁻¹), який поєднується з високим рівнем споживання O₂ (VO_{2max} 63,30 мл·кг⁻¹·хв⁻¹) і високим рівнем економічності функціонування під час виконання навантаження (W/HLa=23,62 Вт·ммоль⁻¹·л⁻¹; VO_{2max}/W=31,41 мл·хв⁻¹·Вт⁻¹; HLa=10,5 ммоль·л⁻¹), швидким відновленням (ЧССвідн=88,1 уд.·хв⁻¹, ІН=85,81 ум. од.). Подібне поєднання — низький рівень працездатності (спортивного результату) при демонстрації високих аеробних можливостей, прогностично несприятливий і свідчить про неправильно побудований тренувальний процес для спортсмена П. І. (недостатня частка специфічних для виду спорту швидкісних і швидкісно-силового навантажень).

Таким чином, вперше визначені типи вегетативної регуляції СР, які більш економічні та сприятливі для досягнення високого рівня працездатності, а також представлена динаміка змін основних характеристик регуляції СР у відновному періоді після фізичних навантажень, що характеризують як адекватну, так і неадекватну реакцію організму спортсменів на тестові навантаження. Крім того, очевидна необхідність визначення ступеня напруження регуляторних систем для

оцінки особливостей адаптації організму спортсменів до тренувальних і змагальних навантажень різного характеру. Аналіз індивідуальних даних двох спортсменів, а також інших результатів тестування вперше дозволяють стверджувати, що однаковий рівень працездатності або функціонування організму може досягатися за рахунок неоднакового внеску систем енергозабезпечення та функціональних систем організму. При цьому підвищений рівень напруження в регуляторних механізмах адаптації може бути результатом наявності окремих слабких ланок у функціонуванні організму людини або невідповідності досягнутого рівня працездатності функціональним можливостям організму.

Висновки

1. Нормотонічний і помірно ваготонічний тип регуляції СР зумовлює знижений рівень реакції КРС за умов навантажень аеробного характеру, що свідчить про більший рівень економичності функціонування організму, а також сприяє досягненню більшого рівня фізичної працездатності та реалізації функціональних можливостей організму і відмічається у кваліфікованих спортсменів з високим рівнем функціональної підготовленості.

2. Переважання тону симпатичного відділу вегетативної нервової системи в стані відносно спокою свідчить про напруження в компенсаторно-приспосувальних реакціях організму, незадовільну адаптацію організму спортсменів до напружених фізичних навантажень та, як результат, знижений рівень загальної та спеціальної працездатності. Про наявність початкових ознак перевтоми спортсменів свідчать різко виражений ваготонічний тип регуляції СР у стані відносно спокою.

3. Певний рівень працездатності або функціонування організму людини є лише кінцевим підсумком регуляції та характеризує рівень функціонування систем, що склався в результаті діяльності керуючих механізмів при різному стані вегетативного гомеостазису. Однаковий рівень працездатності або функціонування організму досягається за рахунок різного співвідношення активності симпатичного і парасимпатичного каналу регуляції та загального напруження в регуляторних механізмах адаптації. При цьому, підвищений рівень загального напруження в регуляторних механізмах був результатом наявності окремих слабких ланок у функціонуванні організму або невідповідності досягнутого рівня працездатності його функціональним можливостям.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баевский Р. М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. И. Кириллов, С. З. Клецкин — М. : Наука, 1984. — 221 с.

2. Баевский Р. М. Анализ вариабельности сердечного ритма в космической медицине / Р. М. Баевский // Физиология человека. — 2002. — Т. 28, № 2. — С. 70–82.

3. Дибнер Р. Д. Оперативная оценка влияния физических нагрузок на основные функции сердца у спортсменов / Р. Д. Дибнер, А. М. Чернышев // Медико-биологические аспекты предсоревновательной подготовки. — Л. : ЛНИИФК, 1982. — С. 4–10.

4. Жемайтите Ц. И. Взаимодействие парасимпатического и симпатического отделов вегетативной нервной системы в регуляции сердечного ритма / Ц. И. Жемайтите, Г. А. Варонецкас, Е. Н. Соколов // Физиология человека. — 1985. — Т. 11, № 3. — С. 448–452.

5. Коваленко С. О. Анализ вариативности реакций сердечного ритма при змінах положення тіла / С. О. Коваленко, Л. І. Кудій // Вісник Черкаського університету. Серія біологічні науки — Черкаси, 2002. — Вип. 39. — С. 70–74.

6. *Вариабельность* сердечного ритма: представление о механизмах / С. А. Котельников, А. Д. Ноздрачев, М. М. Одинак, Е. Б. Шустов // Физиология человека. — 2003. — Т. 28, № 1. — С. 130–143.

7. *Анализ* вариабельности ритма сердца в клинической практике (возрастные аспекты) / О. В. Коркушко, А. В. Писарчук, В. Б. Шатило, Ю. Ю. Линева. — К., 2002. — 191 с.

8. Миронова Т. Ф. Клинический анализ волновой структуры синусового ритма сердца (Введение в ритмокардиографию и атлас ритмограмм) / Т. Ф. Миронова, В. А. Мионов. — Челябинск, 1998. — 202 с.

9. Михайлов В. М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода / В. М. Михайлов. — Иваново, 2000. — 200 с.

10. Мищенко В. С. Реактивные свойства кардиореспираторной системы как отражение адаптации к напряженной физической тренировке в спорте / В. С. Мищенко, Е. Н. Лисенко, В. Е. Виноградов. — К. : Науковий світ, 2007. — 351 с.

11. Пасичниченко В. А. Динамические наблюдения за функциональным состоянием пловцов с различным исходным типом регуляции системы кровообращения / В. А. Пасичниченко // Проблемы спортивной тренировки. — Минск, 1982. — С. 46–47.

12. Шестакова Т. И. Функциональные уровни сердечно-сосудистой системы как отражение функционального резерва организма спортсменов / Т. И. Шестакова // Проблемы спортивной тренировки. — Вильнюс, 1984. — С. 302–303.