

УДК 612.13:796.42

З. І. Коритко, канд. біол. наук

ДО ПИТАННЯ ПРО МЕХАНІЗМИ АДАПТАЦІЇ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ДО ЦИКЛІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Львівський державний університет фізичної культури

В основі досягнення спортивних результатів та їх росту лежать адаптаційні процеси, які відбуваються в організмі [1; 2]. З позицій сучасних концепцій фізіологічної науки, адаптація до м'язової діяльності являє собою системну відповідь організму, спрямовану на досягнення високої тренуваності при мінімізації біологічної ціни за це. Адаптацію до фізичних навантажень слід розглядати як динамічний процес, в основі якого лежить формування нової програми реагування [3].

У процесі адаптації до фізичних навантажень виділяють два етапи — термінової та довготривалої стійкої адаптації. Перехід від термінового етапу до стійкої довгострокової адаптації базується на формуванні структурних змін у всіх ланках: як у морфофункціональних системах, так і в регуляторних механізмах [1].

Довготривала адаптація може розглядатись як процес з постійно змінним вектором, оскільки складається з величезного набору різноманітних адаптаційних реакцій на тре-

нувальні та інші навантаження, «слідові явища» яких можуть мати як позитивний, так і негативний характер. Саме комплекс неспецифічної та специфічної ланки діючого фактора зумовлює функціональні, а при багаторазовій дії фактора і структурні адаптаційні зміни в організмі та його системах [3].

Довготривала адаптація виникає поступово, у результаті тривалої чи багаторазової дії на організм певних подразників і розвивається на основі багаторазової реалізації термінової адаптації. Довготривала адаптація характеризується тим, що внаслідок нагромадження кількісних змін організм набуває нової якості — з неадаптованого перетворюється в адаптований [1].

Довготривала адаптація проявляється у всіх органах і характеризується збільшенням функціональних резервів, які є наслідком структурних перебудов органів і тканин та значною економізацією функцій [1; 3; 4].

Спортивне тренування впливає на всі ланки серцево-судинної системи: морфологію

серця і системну гемодинаміку, стан судинного русла. У результаті довготривалої адаптації формується конкретна модель, а краще сказати функціональна система, оптимального функціонування апарату кровообігу, який відповідає спрямованості тренувального процесу. Спрямованість тренувального процесу накладає відбиток на регуляторні механізми кровообігу, на типи кровообігу, формуючи при довготривалій адаптації найбільш економічно вигідний гіпокінетичний тип кровообігу, а також на функціональні резерви серця [5; 8; 13; 14].

Навіть фізично активні люди, які регулярно займаються фізичною культурою, достовірно відрізняються від осіб, які не займаються фізичними вправами за показниками серцево-судинної системи: за показниками систолічного ($AT_{\text{сист}}$) та діастолічного ($AT_{\text{діаст}}$) артеріального тиску, величиною адаптаційного потенціалу серцево-судинної системи ($AP_{\text{ССС}}$), співвідношенням активності симпатичної та парасимпатичної гілок регуляції серце-

вого ритму (LF/HF) [6–8]. У осіб, які займаються фізичною культурою, адаптаційні можливості серцево-судинної системи більшою мірою залежать від центральних механізмів регуляції обмінних процесів, ніж від гуморальних факторів регуляції [9–11].

Таким чином, адаптаційно-приспосувальна діяльність серцево-судинної системи в організмі в цілому — це перехідні процеси, які безперервно слідуєть один за одним і потребують певного напруження регуляторних механізмів [12].

Зміни регуляції системного кровообігу під впливом фізичних навантажень динамічного характеру повністю вкладаються у відомі принципи економізації функціонування систем [9; 13–16]. Проявом компенсаторно-приспосувальної реакції при довготривалій адаптації організму до фізичних навантажень є гіперфункція серця, яка характеризується збільшенням енергії, що утворюється міокардом на одиницю маси внаслідок підвищення інтенсивності функціонування його структур [17]. Така послідовність указує на функціонування механізму регуляції на рівні клітини, при цьому дефіцит енергії відіграє роль сигналу, який опосередковано активує генетичний апарат. Активація забезпечує збільшення потужності системи мітохондрій і стає базою стійкої адаптації [12].

На думку багатьох авторів [5; 13], гемодинамічною характеристикою адаптації апарату кровообігу спортсменів — представників циклічних видів спорту є посилення його скоротливої здатності за рахунок фізіологічної дилатації шлуночків, у результаті якої збільшується базальний резервний об'єм (БРО).

Оцінка морфометричних показників у спортсменів — представників циклічних видів спорту по відношенню до нетренованих людей має такі закономірності: у тренованих осіб значення кінцево-сistolічного об'єму (КСО) і кінцево-діастолічного об'єму (КДО) лівого шлуночка (ЛШ) достовірно вищі, ніж у контрольній групі. Це може бути результатом постійного додаткового розтягнення камер серця внаслідок збільшення об'єму крові при виконанні інтенсивних фізичних навантажень.

Показники товщини міжшлуночкової перегородки (МШП) в діастолу і МШП в систолу достовірно вищі у спортсменів циклічних видів спорту. Також вищі показники товщини задньої стінки лівого шлуночка (ЗСЛШ) у систолу і ЗСЛШ у діастолу. Ці зміни, очевидно, є наслідком однієї зі складових тієї потужної компенсації, яка необхідна для високої продуктивності серця в умовах напруженого фізичного навантаження [13; 18].

У спортсменів, що займаються циклічними видами спорту, вища маса міокарда лівого шлуночка (ММЛШ) і вищий індекс ММЛШ (відношення ММЛШ до площі поверхні тіла).

Відношення КДО / ММЛШ у спортсменів, яке відображає шлях адаптації ССС до навантажень, свідчить про збільшення у них лівого шлуночка. Відомо [17; 19], що ударний об'єм серця (УО) є основним еквівалентом витривалості ССС і кисневотранспортного забезпечення організму, тому підвищення УО і КДО ЛШ у спортсменів зумовлює інотропізм міокарда, що є важливим приспосувальним механізмом у процесі адаптаційної роботи серця до інтенсивних фізичних

навантажень і створює морфологічну основу для функціонування серця в умовах значного венозного повернення крові [16; 18; 20].

Ударний об'єм крові збільшується зі збільшенням тренованості. Збільшення УО відбувається як за рахунок використання базального об'єму крові, так і, певною мірою, за рахунок її додаткового резервного об'єму [15; 21; 22].

Іншим важливим гемодинамічним показником адаптаційного механізму є хвилинний об'єм крові (ХОК), який визначає рівень кровопостачання працюючих м'язів. Деякі автори стверджують, що у спортсменів циклічних видів спорту, які тренуються на розвиток витривалості, він значно вищий, ніж у неспортсменів, що характеризує функціональний резерв серця в умовах надлишкового фізичного навантаження. Вищі значення ХОК є не лише за рахунок високого УО, але й визначаються переважаним тонусом симпатичного відділу вегетативної нервової системи [12; 17; 23]. Збільшення ХОК зумовлено, очевидно, тривалим виконанням динамічних вправ помірної потужності, що веде до збільшення об'єму серця і розтягнення серцевого м'яза [12; 13].

Інші дослідники стверджують, що у спортсменів циклічних видів спорту, які тренуються на розвиток витривалості, значення ХОК нижчі, ніж у неспортсменів [5; 14], а вищі, ніж у неспортсменів, показники ХОК зареєстровані у спринтерів [17; 24; 25].

Хоча в літературі є достатньо даних, які характеризують стан серцево-судинної системи, зокрема центральної гемодинаміки у спортсменів різного виду спорту, віку, статі, тренованості тощо [5; 8; 9; 13],

разом із тим, багато аспектів даної проблеми залишаються суперечливими і не з'ясованими до кінця. Зокрема, немає єдиної думки відносно величин основних кардіогемодинамічних показників: ХОК та УО, особливо у стані спокою. Крім того, величини УО мають широкий діапазон індивідуальних коливань [15; 17; 19; 21]. Існування гемодинамічної неоднорідності спортсменів потребує нових підходів до оцінки показників центральної гемодинаміки. Перспективним є уявлення про типи кровообігу, на формування яких, очевидно, впливає стан здоров'я спортсменів, а також вид фізичних навантажень і рівень спортивної майстерності [8; 13; 14].

Встановлено, що типи кровообігу у легкоатлетів-бігунів тісно пов'язані з спеціалізацією та кваліфікацією, оскільки серед спринтерів високої кваліфікації значно більше спортсменів з більш економічним типом кровообігу, ніж серед спринтерів нижчої кваліфікації, а усі стайери мають економічно вигідний гіпокінетичний тип кровообігу з найвищими функціональними резервами [14].

Що стосується показників загального судинного опору, то дані літератури також різняться. Одні дослідники вважають, що у тренуваних осіб показники загального судинного опору вищі порівняно з контрольною групою, що вказує на високоефективні адаптаційні механізми. На їх думку, такі зміни є фізіологічним механізмом, який визначає зменшення приросту рівня кровопостачання кінцівок внаслідок підвищення активності фізіологічних вазопресорів [12]. Інші ж вважають, що у тренуваних осіб адаптаційні процеси йдуть шляхом зниження

показників судинного опору, що є оптимальним для роботи серцево-судинної системи [13; 14].

Тривалі фізичні навантаження виявляють величезний вплив також і на стан провідних шляхів серця, показників тону вегетативної нервової системи, варіабельності ритму серця [7; 10; 27; 28].

Уявлення про стан регуляторних систем організму дозволяє отримати аналіз математичних показників серцевого ритму за Р. М. Баєвським [29].

Якісні зміни регуляторних систем виявляють за індексом напруження (ІН). Індекс напруження міокарда як інтегральний показник роботи серцево-судинної системи можна використовувати для контролю за функціональним станом організму та при визначенні їх фізичної працездатності [11; 12; 30]. Встановлено, що ІН корелює з показниками фізичної працездатності та натренованості, а саме з ростом тренуваності проходить зниження ІН [26]. Індивідуальні значення ІН лижників-гонщиків протягом річного тренувального циклу корелюють з результатами змагальної діяльності (А. А. Богатов, 2003). Крім того, прямі кореляційні зв'язки середньої сили спостерігаються між значеннями ХОК і показниками напруження механізмів адаптації за ІН [12; 31]. Сприятливою ознакою адаптації регуляторних механізмів серця при невеликих навантаженнях вважається також зменшення амплітуди моди (АМо) і показника ΔX (розкиду кардіоінтервалів за 100 кардіоциклів) [6]. Зниження АМо свідчить на користь нормалізації тону симпатичного відділу ВНС, підвищення значень Мо вказує на відновлення гумо-

ральної ланки механізму адаптації. Збільшення R-R є відображенням активності автономного контуру регуляції і характерною рисою пристосувальних реакцій організму до циклічних навантажень [18; 32; 33].

Таким чином, процес адаптації організму спортсменів, які спеціалізуються у циклічних видах спорту, — це складне явище, що зачіпає різні рівні функціональної інтеграції. При цьому в сукупності адаптаційних процесів, ланок і механізмів адаптації на фоні підвищених вимог до організму спортсменів досить часто виникають ситуації локального вичерпання адаптаційного резерву, що викликає напруження суміжних, і перш за все регуляторних, ланок адаптаційного процесу. Перспектива розвитку процесу залежить як від значущості ланки, так і від компенсаторних можливостей інших ланок [3; 34].

ЛІТЕРАТУРА

1. Платонов В. Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В. Н. Платонов. — К. : Олимпийская литература, 2004. — 808 с.
2. Иорданская Ф. А. Диагностика и дифференцированная коррекция симптомов дезадаптации к нагрузкам современного спорта и комплексная система мер их профилактики / Ф. А. Иорданская, М. С. Юдинцева // Теория и практика ФК. — 1999. — № 1. — С. 18–25.
3. Дорофеева С. С. Состояние некоторых гуморальных регуляторных систем у спортсменов высокого класса / С. С. Дорофеева // Украинський медичний альманах. — 2005. — Т. 7. — С. 63–65.
4. Гаркави Л. Х. Антистрессорные реакции и активационная терапия / Л. Х. Гаркави, Е. Б. Квакина, Т. С. Кузьменко. — М. : ИМЕДИС, 1998. — 656 с.
5. Мельников А. А. Особенности гемодинамики и реологических свойств

- крови у спортсменів с різної направленності тренувального процесу / А. А. Мельников, А. Д. Викулов // Теория и практика ФК. — 2003. — № 1. — С. 23–26.
6. Романчук А. П. Комплексная оценка межсистемных отношений функциональных реакций организма на физическую нагрузку / А. П. Романчук // Теория и практика ФК. — 2002. — № 4. — С. 51–54.
7. Галеев А. Р. Использование анализа variability сердечного ритма при оптимизации двигательной активности / А. Р. Галеев, Э. М. Казин, Л. Н. Игишева // Валеология. — 2001. — Т. 26, № 2. — С. 100–107.
8. Коритко З. І. Вплив спеціалізації та кваліфікації бігунів на типи кровообігу та функціональні резерви серця / З. І. Коритко, М. С. Яськів // Адаптаційні можливості дітей та молоді : тези доп. 6-ї наук.-практ. міжнар. конф., Одеса, 14–16 вересня 2006 р. — Одеса, 2006. — С. 150–152.
9. Ванюшин Ю. С. Адаптация сердечной деятельности подростков к нагрузке повышающейся мощности / Ю. С. Ванюшин, Ф. Г. Ситдииков // Физиология человека. — 2001. — Т. 27, № 2. — С. 91.
10. Malliani A. The Pattern of Sympathovagal Balance Explored in the Frequency Domain / A. Malliani // News in Rhyiological Sciences. — 1999. — Vol. 14, N 3. — P. 111–117.
11. Stroke volume variability and heard rate power spectrum in relation to posture changes in healthy subjects / J. Siebert, P. Drabik, R. Lango, K. Szyndler // Med. Sci Monit. — 2004. — Vol. 10, N 2. — P. 31–37.
12. Эхоморфофункциональные «маркеры» энергетического обмена в миокарде у спортсменов — представителей циклических видов спорта / Ю. В. Качан, М. Е. Нечаева, М. Е. Рождественский, О. Л. Смитиенко // Теория и практика ФК. — 2002. — № 8. — С. 43–47.
13. Михалюк Э. Л. Показатели центральной гемодинамики, физической работоспособности и variability сердечного ритма у легкоатлето-спринтеров / Э. Л. Михалюк // Актуальні питання медичної науки та практики : зб. наук. праць ЗМАПО. — Запоріжжя, 2005. — Вип. 68, кн. 2. — С. 246–252.
14. Коритко З. І. Особливості типу кровообігу та функціональних резервів серця у легкоатлетів-бігунів різної спеціалізації та кваліфікації / З. І. Коритко // Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія. — 2006. — № 3. — С. 108–113.
15. Коваленко С. О. Спектральний аналіз коливань ударного об'єму крові у чоловіків у стані спокою та при різних навантаженнях / С. О. Коваленко // Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія. — 2008. — № 2. — С. 59–63.
16. McClintock P. Interactions and synchronisation in the cardiovascular system / P. McClintock, A. Stefanovska // Fluctuation and Noise Letters. — 2003. — Vol. 3, N 2. — P. 167–176.
17. Показатели ударного объема крови у юношей, занимающихся физическими упражнениями динамического и статического характера / Р. А. Абзалов, И. Х. Вахитов, Р. С. Сафин [и др.] // Теория и практика ФК. — 2002. — № 2. — С. 13–14.
18. Морфофункциональные показатели сердца и кардиогемодинамики спортсменов под действием нейроэндокринного адаптогена «Милайф» / Г. И. Нечаева, О. Л. Смитиенко, А. Ю. Дятлова, В. В. Корнякова // Теория и практика ФК. — 2003. — № 6. — С. 41–45.
19. Каленіченко О. В. Центральна гемодинаміка та фазова структура серцевого циклу у студентів-спортсменів із різною спрямованістю тренувального процесу / О. В. Каленіченко // Науковий вісник Волинського державного університету імені Лесі Українки. — 2006. — № 5. — С. 14–18.
20. Bhambhani Y. Prediction of stroke volume from oxygen pulse measurements in untrained and trained men / Y. Bhambhani, S. Norris, G. Bell // Can. J. Appl. Physiol. — 1994. — N 1. — P. 49–59.
21. Илюшин О. В. Изменения ударного объема крови у студентов после выполнения гарвардского степ-теста / О. В. Илюшин, Р. А. Абзалов // Теория и практика ФК. — 2003. — № 1. — С. 48–51.
22. Miura M. Ventilator response at the onset of voluntary exercise and passive in endurance runners / M. Miura // Eur. Appl. Physiol. — 1997. — Vol. 76, N 3. — P. 221–229.
23. Особливості центральної гемодинаміки та її змін при додатковому опору диханню у спортсменів різних видів спорту аеробної спрямованості тренувального процесу / С. В. Гречуха, О. О. Безкопильний, К. М. Мотуз, С. О. Коваленко // Слобожанський науково-спортивний вісник. — 2010. — № 2. — С. 83–86.
24. Коритко З. І. Вплив гепарину на реалізацію функціональних резервів серця у бігунів різної кваліфікації при граничних фізичних навантаженнях / З. І. Коритко // Фізіологічний журнал. — 2010. — Т. 56, № 2. — С. 261.
25. Яремко Є. О. Особливості реалізації адаптаційних можливостей кардіогемодинаміки на анаеробні фізичні навантаження // Фізіологічний журнал. — 2010. — Т. 56, № 2. — С. 269–270.
26. Гриньків М. Я. Ритм серця і стан центральної гемодинаміки легкоатлетів-бігунів на різні дистанції / М. Я. Гриньків, П. П. Дацків // Адаптаційні можливості дітей та молоді : матеріали 6-ї наук.-практ. міжнар. конф., Одеса, 13–15 вересня 2004 р. — Одеса, 2004. — С. 65–70.
27. Регуляторні механізми адаптації кардіогемодинаміки до фізичних навантажень у легкоатлетів-бігунів / Є. О. Яремко, П. П. Дацків, М. Я. Гриньків [та ін.] // Фізіологічний журнал. — 2006. — Т. 52, № 2. — С. 211–212.
28. Tuvia S. B-Adrenergic agonists regulate cell membrane fluctuations of human erythrocytes / S. Tuvia, A. Moses, N. Gulaev // Journ. Physiol. — 1999. — Vol. 516, N 3. — P. 781–792.
29. Полатайко Ю. А. Хронофізіологічні особливості variability сердечного ритма у спортсменів в процесі щорічної підготовки / Ю. А. Полатайко, И. В. Радьш // Вестник новых медицинских технологий. — 2005. — Т. XII, № 1. — С. 44–47.
30. Tzuji H. Impact of reduced heart rate variability on risk of cardiac events. The Framingham heart study / H. Tzuji // Circulation. — 1996. — Vol. 94, N 11. — P. 2850–2855.
31. Гриньків М. Я. Особливості серцевого ритму спортсменів із швидкокісно-силовою спрямованістю тренувального процесу / М. Я. Гриньків // Фізіологічний журнал. — 2010. — Т. 56, № 2. — С. 255–256.
32. The ability of several short-term measures of RR variability to predict

mortality afther myokardial infartion / J. T. Bigger, J. L. Fleiss, L. M. Rolnitsky, R. S. Steinman // *Circulation*. — 1993. — Vol. 88, N 7. — P. 927–936.

33. *Heart rate variability: origins, methods and interpretative caverats* / G. G. Berntson, J. T. Bigger, D. L. Ekberg [et al.] // *Psychophysiology*. — 1997. — N 34. — P. 623–648.

34. *Bouteau N. Stroke volume variation as an indikator of fluid responsiveness* / N. Bouteau, B. Tavernier // *Anesth Analg*. — 2004. — Vol. 98, N 1. — P. 278–279.

УДК 612.13:796.42

З. І. Коритко

ДО ПИТАННЯ ПРО МЕХАНІЗМИ АДАПТАЦІЇ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ДО ЦИКЛІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

В огляді літератури розглянуті загальні аспекти адаптації організму спортсменів до фізичних навантажень циклічного характеру, а також механізми формування довготривалої адаптації серцево-судинної системи.

Ключові слова: адаптація, фізичні навантаження, легкоатлети-бігуни, серцево-судинна система.

UDC 612.13:796.42

Z. I. Korytko

ON THE MECHANISMS OF ADAPTATION OF CARDIOVASCULAR SYSTEM TO CYCLIC LOADING

The review deals with general aspects of the adaptation of athletes to the cyclical nature of physical activities and mechanisms of long-term adaptation of the cardiovascular system.

Key words: adaptation, physical activity, athletes-runners, cardiovascular system.