

УДК 612.13

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ГЕМОДИНАМІКИ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНО- АПАРАТНОГО ЗАСОБУ «РИТМ» ТА РЕОКАРДІОГРАФІЇ

Любомир ВОВКАНИЧ¹, Віктор СОКОЛОВСЬКИЙ², Христина МАХОВСЬКА³

^{1,2}Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського,
м. Львів, Україна,

³Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів, Україна,
e-mail: anatom@ldufk.edu.ua,
ORCID: ¹0000-0002-6642-6368

Анотація. Для аналізу показників гемодинаміки спортсменів, які слугують індикаторами функціональної підготовленості та адаптації до фізичних навантажень, доцільно використовувати доступні розрахункові методи. Для цього був створений програмно-апаратний засіб «Автоматизований комплекс аналізу варіабельності серцевого ритму та основних показників гемодинаміки людини» (ПАЗ «Ритм»). Метою наших досліджень було порівняння показників гемодинаміки організму людини, отриманих з використанням ПАЗ «Ритм» та методу реокардіографії. Учасниками дослідження були четверо осіб чоловічої статі віком 20–21 рік, без спортивних розрядів. Вимірювання виконували у стані спокою, після виконання фізичних навантажень різної потужності та у період відновлення. Показники гемодинаміки розраховували з використанням програмного забезпечення ПАЗ «Ритм» на основі даних частоти серцевих скорочень та артеріального тиску, а також визначали за методом грудної тетраполярної реографії за допомогою реографа ReoCom Standard. Виявлено, що систолічний об'єм крові (СОК) під впливом фізичних навантажень зростає пропорційно до збільшення їхньої потужності. Абсолютні величини СОК, отримані з використанням ПАЗ «Ритм» чи реографічного комплексу ReoCom Standard, не відрізняються більш ніж на 9 мл, ця різниця була статистично недостовірною ($P > 0,05$). Підвищення хвилинного об'єму крові (ХОК) під впливом фізичних навантажень становило 60–140 % за даними ПАЗ «Ритм» та 35–107 % за даними ReoCom Standard. Часова динаміка змін ХОК була аналогічна у випадку обох засобів, різниця досягала рівня статистичної достовірності ($P < 0,05$) лише в одному випадку. Упродовж усього періоду вимірювання не було виявлено статистично достовірної різниці між величинами периферичного опору судин, отриманих різними засобами ($P < 0,05$). Отримані результати вказують на те, що алгоритми розрахунку змін основних показників гемодинаміки організму людини, реалізовані у ПАЗ «Ритм», дають змогу відображати динаміку змін цих показників під впливом фізичних навантажень та у період відновлення аналогічно до апробованих реографічних методик дослідження.

Ключові слова: систолічний об'єм крові, хвилинний об'єм крові, периферичний опір судин.

ANALYSIS OF THE HEMODYNAMIC'S INDEXES OF HUMAN ORGANISM BY SOFTWARE-HARDWARE COMPLEX «RYTM» AND REOCARDIOGRAPHY

Lyubomyr VOVKANYCH¹, Viktor SOKOLOVSKY², Kristina MAKHOVSKA³

^{1,2}Lviv State University of Physical Culture named after Ivan Boberskyj, Lviv, Ukraine,

³Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine,
e-mail: anatom@ldufk.edu.ua,
ORCID: ¹0000-0002-6642-6368

Abstract. The appropriate methods for the analysis of the indexes of the athletes' hemodynamics and their adaptation to the physical loads are based on the calculation approach. For this purpose a

hardware-software complex «Automated complex for analysis of heart rate variability and basic indices of human hemodynamics» (SHC «Rytm») was designed. The aim of our research was to compare the hemodynamics indexes of the human body, obtained by SHC «Rhythm» and the reocardiography method. The study included four male subjects, aged 20–21 years, untrained. Measurements were performed at rest, at the end of physical exercises with increased levels of loads and during recovery period. The hemodynamic indexes were calculated by SHC «Rytm» software on the base of values of heart rate and arterial blood pressure, and simultaneously determined by method of tetrapolar chest rheography with «ReoCom Standard» device. We have found that stroke volume (SV) under physical activity increased proportionally to intensity of exercise. The difference between the SV values, obtained by SHC «Rhythm» and the «ReoCom Standard» did not exceed 9 ml and was statistically insignificant ($P > 0.05$). The increase in cardiac output (CO) during the physical activity by SHC «Rhythm» was estimated to be 60–140 %, in comparison to 35–107 %, calculated by «ReoCom Standard». The time course of CO changes was similar in the case of both devices, the difference in values was statistically significant ($P < 0.05$) only in one point. During the entire measurement period, no statistically significant difference was found between the values of peripheral resistance obtained by two devices ($P < 0.05$). The main finding of this study is that the algorithms, implemented in SHC «Rhythm» for calculating the changes in the basic indexes of human hemodynamics, allow to reflect the dynamics of their changes during the physical loads and recovery period at the same similarly to the well approved methods of research.

Keywords: stroke volume, cardiac output, peripheral vascular resistance.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Сучасні умови змагальної та тренувальної діяльності, роботи екстрених служб та медичних установ вимагають посиленого контролю за функціонуванням фізіологічних систем організму. Це необхідно для визначення рівня напруженості його діяльності та уникнення патологічних змін. Саме для цього розроблено засоби дистанційного (телеметричного) контролю показників серцево-судинної системи [17–19]. Параметри серцево-судинної системи використовують як індикатори інтенсивності та відповідності фізичного навантаження, напруженості діяльності регуляторних систем організму.

Важливими показниками серцево-судинної системи організму є параметри центральної гемодинаміки, зокрема систолічний об'єм крові (СОК), хвилинний об'єм крові (ХОК) та інші. Для визначення СОК використовують кілька інвазивних методик, зокрема метод Фіка, розведення барвників, термодилуцію [16]. Застосування цих методик вимагає наявності складного обладнання, кваліфікованого персоналу та неможливе у польових умовах.

До неінвазивних методик визначення СОК належить ехокардіографія, розрахункові методи, біоімпедансна кардіографія (реографія) [7, 8, 11, 16]. Розрахункові методики та біоімпедансна кардіографія можна використовувати в польових умовах, вони не вимагають складного обладнання. Саме вони є перспективними для використання у галузі фізичного виховання і спорту.

Дослідження виконано відповідно до теми «Створення неінвазивного комплексного підходу

для оцінки адекватності фізичних навантажень у фізичній реабілітації та спорті» (номер державної реєстрації 0118U 000809).

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Неінвазивні методики вивчення показників гемодинаміки використовують у сучасних дослідженнях. Зокрема, за допомогою реографічного методу виявлене підвищення СОК під час роботи на велоергометрі [2, 13], під впливом зміни положення тіла, у процесі виконання Гарвардського степ-тесту [15] та проби PWC₁₇₀ [12], під час виконання змагальних вправ у гирьовому спорті [9]. Цим методом встановлено зміни СОК у процесі багаторічної підготовки спортсменів [3].

Однією з перших формул для розрахунку СОК за базовими показниками гемодинаміки стала формула Старра [20], яка на сьогодні зазнала кількох модифікацій, запропонованих, зокрема, І.Б. Заболотським та Б.І. Заболотським [5, 6], Н.В. Богдановською та М.В. Маліковим [10] та іншими авторами. Розрахункові методи використовують у багатьох сучасних публікаціях, присвячених вивченню показників гемодинаміки (зокрема, СОК) спортсменів [1, 14] чи нетренованих осіб [5].

Для ефективного аналізу показників гемодинаміки доцільною є автоматизація їх розрахунку. Для цього був створений програмно-апаратний засіб «Автоматизований комплекс аналізу варіабельності серцевого ритму та основних показників гемодинаміки людини» (ПАЗ «Ритм», ЛДУФК, Львів), алгоритм роботи якого заснований на експрес-системі оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи [4]. Необхідною передумовою його практичного застосування

є оцінювання точності розрахунку показників гемодинаміки шляхом порівняння з іншими апробованими методиками. Тож основною **метою** наших досліджень було порівняння показників гемодинаміки організму людини, отриманих із використанням ПАЗ «Ритм» та методу тетраполярної реографії (реокардіографії).

Методи та організація дослідження. Учасниками дослідження були четверо осіб чоловічої статі, віком 20–21 рік, без спортивних розрядів. Усі учасники надали інформовану згоду на участь у дослідженні.

Досліджувані виконували три фізичні навантаження (ФН1, ФН2 та ФН3) тривалістю по 4 хв. Використовували степ-тест, висота сходинки – 20 см, темп виконання – 8, 14 та 18 сходжень за хвилину. Інтервал відпочинку між навантаженнями становив 4 хв (після ФН3–10 хв). Показники визначали у стані спокою, одразу після завершення фізичних навантажень та під час відновлення. Реєстрували артеріальний тиск систолічний (АТС, мм рт. ст.) та діастолічний (АТД, мм рт. ст.), частоту серцевих скорочень (ЧСС, уд./хв). Величину ЧСС визначали з допомогою нагрудного давача, артеріальний тиск вимірювали за методом Короткова (тонометром Microlife BP AG 1–30). Показники гемодинаміки розраховували з використанням

програмного забезпечення ПАЗ «Ритм» за заданим алгоритмом [4].

Показники центральної гемодинаміки визначали також із використанням методу грудної тетраполярної реографії [7]. Реєстрацію реограми здійснювали за схемою Kubicek з допомогою реографа ReoCom Standard (ХАІ, Харків, Україна). Аналіз реограми та розрахунок показників гемодинаміки виконували використовуючи штатне програмне забезпечення ReoCom.

Отримані цифрові дані проаналізовано методами описової статистики з використанням табличного редактора Microsoft Excel 2010. Значущість різниці у показниках оцінено на основі критерію Вілкоксона.

Результати дослідження та їх обговорення. Установлено, що за умови підвищення інтенсивності фізичного навантаження спостерігаються закономірні зміни базових параметрів гемодинаміки організму людини – ЧСС та АТ (табл. 1). Зокрема, показник ЧСС зростав на 28 %, 51 % та 69 % після першого, другого та третього навантаження відповідно. Вже після першої хвилини відновлення він не відрізнявся від початкового рівня. Зареєстровано також підвищення рівня САТ (на 8 %, 10 % та 14 % відповідно) та значно менші зміни ДАТ.

Таблиця 1

Аналіз змін базових параметрів гемодинаміки організму людини ($M \pm m$) під впливом фізичних навантажень (ФН1, ФН2 та ФН3) та у період відновлення

Показник	Спокій	Фізичне навантаження			Відновлення		
		ФН1	ФН2	ФН3	1 хв	5 хв	10 хв
ЧСС, уд./хв	71,00±3,46	91,25±1,25	107,25±2,69	120,00±2,94	73,00±1,22	71,75±1,75	72,75±1,03
АТС, мм рт. ст.	133,75±3,75	145,00±5,00	148,25±5,82	152,50±5,20	151,25±5,15	137,50±4,33	129,75±3,88
АТД, мм рт. ст.	99,50±1,66	103,75±1,25	107,50±4,79	104,50±2,63	103,75±2,39	99,25±1,49	97,50±1,44

Вказані у табл. 1 показники гемодинаміки в режимі реального часу були внесені у базу даних ПАЗ «Ритм», що дало змогу виконати автоматизований розрахунок багатьох інших параметрів гемодинаміки організму людини, необхідних для оцінювання адаптаційних реакцій, які виникають під впливом фізичного навантаження. Отримані

показники порівнювали з аналогічними, отриманими з використанням методу тетраполярної грудної реографії (див. рис. 1).

Виявлено, що систолічний об'єм крові під впливом фізичних навантажень зростає пропорційно до збільшення їхньої потужності (див. рис. 1а). Зокрема, після виконання першого навантаження

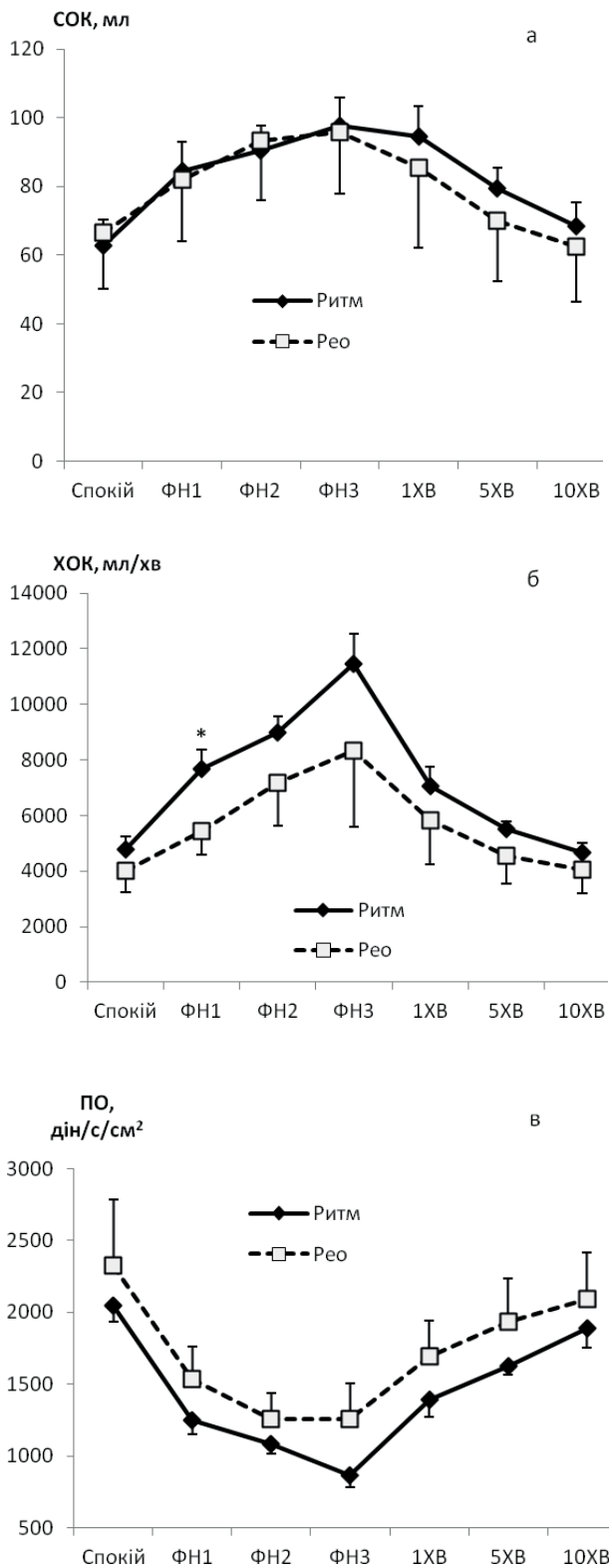


Рис. 1. Зміни показників гемодинаміки організму людини під впливом фізичних навантажень та у період відновлення. Зміни систолічного об'єму крові (СОК, мл), хвилиного об'єму крові (ХОК, мл/хв) та периферичного опору судин (ПО, дін/с/см²) визначали після фізичних навантажень різної інтенсивності (ФН1, ФН2, ФН3) та після відновлення тривалістю 1, 5 та 10 хв (1ХВ, 5ХВ, 10ХВ)

* – різниця між даними достовірна $P < 0,05$.

СОК зріс на 34,2%, другого – на 43,7%, а третього – на 55,2%. При цьому абсолютні величини СОК, отримані з використанням ПАЗ «Ритм» чи реографічного комплексу ReoCom Standard у стані фізіологічного спокою та під час виконання досліджуваними фізичних навантажень, були дуже близькими (різниця не перевищувала 9 мл). Після завершення навантажень спостерігалось поступове відновлення СОК, часова динаміка якого була аналогічною за даними обох засобів. Достовірної різниці в отриманих показниках СОК не виявлено ($P > 0,05$). Показник хвилиного об'єму крові під впливом фізичного навантаження також зростає (див. рис. 1б). Підвищення ХОК становило 60–140% за даними ПАЗ «Ритм» та 35–107% за даними ReoCom Standard. Часова динаміка змін ХОК під впливом фізичних навантажень та під час відновлення була аналогічною у випадку обох засобів. Хоча значення ХОК, обчислені з використанням ПАЗ «Ритм», були дещо більшими, проте різниця з показниками ReoCom Standard досягала рівня статистичної достовірності ($P < 0,05$) лише в одному випадку – після першого фізичного навантаження (див. рис. 1б). Завдяки використанню двох приладів також було зареєстроване зменшення периферичного опору судин (ПО) під впливом фізичних навантажень, а також поступове відновлення високих значень ПО під час 10-хвилинного періоду відновлення (див. рис. 1в). Максимальні зміни ПО спостерігалися під впливом фізичного навантаження найвищої інтенсивності (досягали 58% від початкового рівня). Упродовж усього періоду вимірювання різниця показників між приладами була статистично недостовірною ($P < 0,05$).

Таким чином, отримані результати вказують на те, що алгоритми розрахунку змін основних показників гемодинаміки організму людини, реалізовані у ПАЗ «Ритм», дають змогу відобразити динаміку змін цих показників під впливом фізичних навантажень та у період відновлення аналогічно до апробованих реографічних методик дослідження.

Висновки. Аналіз показників гемодинаміки організму людини, отриманих у стані фізіологічного спокою, після фізичних навантажень та у період відновлення, вказує на відсутність суттєвих відмінностей у часовій динаміці зміни та абсолютних величинах показників, визначених із використанням ПАЗ «Ритм» та на основі тетраполярної грудної реографії (ReoCom Standard).

Перспективи подальших пошуків. У зв'язку з цим, перспективним є практичне застосування ПАЗ «Ритм» у навчально-тренувальному процесі для вивчення адаптаційних змін показників гемодинаміки спортсменів.

Список використаних джерел

1. Бергтраум Д. Особенности показников гемодинамики квалифицированных гандболистов в спокойствии та після виконання швидко-силових навантажень / Д. Бергтраум, Л. Вовканич, К. Латишевська // Спортивна наука України. – 2018. – № 6(88). – С. 3–10.
2. Виноградов С.Н. Функциональная взаимосвязь параметров газообмена и гемодинамики при физической нагрузке у спортсменов различной спортивной специализации / С.Н. Виноградов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 21–25.
3. Динамика частоты сердечных сокращений и ударного объема крови у юных спортсменов в процессе занятий академической греблей / И.Х. Вахитов, Л.Р. Камалиева, Р.С. Халиуллин, Б.И. Вахитов // Казанский медицинский журнал. – 2011. – Том 92, № 2. – 167–169.
4. Дрозд И.П. Определение индивидуальной радиорезистентности человека / И.П. Дрозд, М.Ю. Гриджук, И.О. Мукалов. – Saarbrücken : LAP Lambert Academic Publishing, 2014. – 197 с.
5. Заболотских Б.И. Влияние пробы сердечно-дыхательного синхронизма на основные параметры центральной гемодинамики / Б.И. Заболотских, Н.В. Заболотских // Кубанский научный медицинский вестник. – 2014. – № 5(147). – С. 52–55.
6. Заболотских И.Б. Особенности неинвазивного определения ударного объема сердца расчетным способом у лиц различных возрастных групп / И.Б. Заболотских, С.В. Григорьев // Вестник интенсивной терапии. – 2002. – № 5. – С. 18–20.
7. Кардиодинамические основы и перспективы клинического использования реографии. Антропологический аспект : монография / Г.С. Белканиа, Л.Р. Диленян, Д.Г. Коньков [и др.] – Нижний Новгород : НижГМА, 2016. – 220 с.
8. Определение показателей центральной гемодинамики у спортсменов методом тетраполярной реографии / Орел В. [и др.] // Человек в мире спорта: новые идеи, технологии, перспективы : тез. докл. междунар. конгр. – Москва, 1998. – Т. 1. – С. 134–135.
9. Павлов С.Н. Изменения показателей насосной функции сердца у спортсменов-гиревиков во время выполнения соревновательного упражнения / С.Н. Павлов // Молодой ученый. – 2012. – № 2. – С. 85–88.
10. Спосіб визначення систолічного об'єму крові: патент на винахід 66575 Україна, МПК 7 А61В5/02 / Богдановська Н.В., Маліков М.В. Запорізький державний університет. – № 2003077045; Опубл. 17.05.2004, Бюл. № 5. – 6 с.
11. Практическое применение импедансной реографии в кардиологии – новые подходы / А.А. Думлер, С.Ю. Подтаев, Р.А. Степанов, П.Г. Фрик // Альманах клинической медицины. – 2016. – Т. 44, № 2. – С. 179–185.
12. Садова Н.И. Насосная функция сердца спортсменов высокой квалификации в различных периодах спортивной подготовки : автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Казань, 2006. – 18 с.
13. Селуянов В.Н. Оценка величины ударного объема крови по частоте сердечных сокращений при работе на велоэргометре / В.Н. Селуянов, В.Р. Орел // Спортивная кардиология и физиология кровообращения. – Москва : РГУФК, 2006. – С. 173–178.
14. Выраженность основных показателей центральной кардиогемодинамики у борцов различной квалификации / Н.Ю. Тарабрина, Е.Ю. Грабовская, В.А. Тарабрина, А.Р. Абдураманов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Серия: Биология. Химия. – 2018. – Том 4(70), № 1. – С. 92–103.
15. Халиуллин Р.С. Особенности насосной функции сердца гимнастов в соревновательном периоде и при выполнении функциональных нагрузок : автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Казань, 2012. – 22 с.
16. Beat-to-beat estimation of stroke volume using impedance cardiography and artificial neural network / S. M. M. Naidu, P. C. Pandey, U. R. Bagal, S. P. Hardas // Medical & Biological Engineering & Computing. – 2018. – Vol. 56, № 6. – P. 1077–1089.
17. Dias D. Wearable Health Devices – Vital Sign Monitoring, Systems and Technologies / D. Dias, J. P. S. Cunha // Sensors. – 2018. – Vol. 18, № 8. – P. 2414.
18. Dunn J. Wearables and the medical revolution / J. Dunn, R. Runge, M. Snyder // Personalized Medicine. – 2018. – Vol. 15, № 5. – P. 429–448.
19. Flexible, Stretchable Sensors for Wearable Health Monitoring: Sensing Mechanisms, Materials, Fabrication Strategies and Features / Y. Liu, H. Wang, W. Zhao et al. // Sensors. – 2018. – Vol. 18, № 2. – P. 645.
20. Studies made by simulating systole at necropsy. IV. On the relation between pulse pressure and cardiac stroke volume, leading to a clinical method of estimating cardiac output from blood pressure and age / I. Starr, T. Schnabel, S. I. Askovitz, A. Schild // Circulation. – 1954. – Vol. 9. – P. 648–663.

Reference

1. Бергтраум Д, Вовканич Л, Латишевська К. Особенности показников гемодинамики квалифицированных гандболистов в спокойствии та після виконання швидко-силових навантажень. Спортивна наука України. 2018;6(88):3–10.
2. Виноградов С.Н. Функциональная взаимосвязь параметров газообмена и гемодинамики при физической нагрузке у спортсменов различной спортивной специализации. Современные проблемы науки и образования. 2013;5:21–5.

3. Вахитов ИХ, Камалиева ЛР, Халиуллин РС, Вахитов БИ. Динамика частоты сердечных сокращений и ударного объема крови у юных спортсменов в процессе занятий академической греблей. Казанский медицинский журнал. 2011;92(2):167–9.
4. Дрозд ИП, Гриджук МЮ, Мукалов ИО. Определение индивидуальной радиорезистентности человека. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing; 2014.
5. Заболотских БИ, Заболотских НВ. сердечно-дыхательного синхронизма на основные параметры центральной гемодинамики. Кубанский научный медицинский вестник. 2014;5(147):52–5.
6. Заболотских ИБ, Григорьев СВ. Особенности неинвазивного определения ударного объема сердца расчетным способом у лиц различных возрастных групп. Вестник интенсивной терапии. 2002;5:18–20.
7. Белкания ГС, Диленян ЛР, Коньков ДГ, Саботицкий А, Костенко НП, Гвинджилия ИВ, и др. Кардиодинамические основы и перспективы клинического использования реографии. Антропофизиологический аспект: монография. Нижний Новгород: НижГМА; 2016.
8. Орел В, Богданов В, Сурду А, Головина Т. Определение показателей центральной гемодинамики у спортсменов методом тетраполярной реографии. В: Человек в мире спорта: новые идеи, технологии, перспективы. Тез докл Междунар конгр. Москва; 1998, р. 134–5.
9. Павлов СН. Изменения показателей насосной функции сердца у спортсменов-гиревиков во время выполнения соревновательного упражнения. Молодой ученый. 2012;2:85–8.
10. Богдановська НВ, Маліков МВ. Патент на винахід 66575 Україна, МПК 7 А61В5/02. Спосіб визначення систолічного об'єму крові. Запорізький державний університет, Опубл. 17.05.2004.
11. Думлер АА, Подтаев СЮ, Степанов РА, Фрик ПГ. Практическое применение импедансной реографии в кардиологии – новые подходы. Альманах клинической медицины. 2016;44(2):179–85.
12. Садова НИ. Насосная функция сердца спортсменов высокой квалификации в различных периодах спортивной подготовки [автореферат]. Казань; 2006. 18 с.
13. Селуянов ВН, Орел ВР. Оценка величины ударного объема крови по частоте сердечных сокращений при работе на велоэргометре. В: Спортивная кардиология и физиология кровообращения. Москва: РГУФК; 2006, с. 173–8.
14. Тарабрина НЮ, Грабовская ЕЮ, Тарабрина ВА, Абдураманов АР. Выраженность основных показателей центральной кардиогемодинамики у борцов различной квалификации. Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология. Химия. 2018;4(70):92–103.
15. Халиуллин РС. Особенности насосной функции сердца гимнастов в соревновательном периоде и при выполнении функциональных нагрузок [автореферат] Казань; 2012. 22 с.
16. Naidu SMM, Pandey PC, Bagal UR, Hardas SP. Beat-to-beat estimation of stroke volume using impedance cardiography and artificial neural network. Medical & Biological Engineering & Computing. 2017;56(6):1077–89.
17. Dias D, Cunha JPS. Wearable Health Devices–Vital Sign Monitoring, Systems and Technologies. Sensors. 2018;18(8):2414.
18. Dunn J, Runge R, Snyder M. Wearables and the medical revolution. Personalized Medicine. 2018;15(5):429–48.
19. Liu Y, Wang H, Zhao W, Zhang M, Qin H, Xie Y. Flexible, Stretchable Sensors for Wearable Health Monitoring: Sensing Mechanisms, Materials, Fabrication Strategies and Features. Sensors. 2018;18(2):645.
20. Starr I, Schnabel TG, Askovitz SI, Schild A. Studies Made By Simulating Systole at Necropsy. Circulation. 1954;9(5):648–63.

Стаття надійшла до редколегії 12.02.2019

Прийнята до друку 13.06.2019

Підписана до друку 27.06.2019