

CHARACTERISTICS OF FUNCTIONAL SUPPORT FOR SPECIALIZED PHYSICAL PERFORMANCE IN ROWERS

National University of Ukraine on Physical Education and Sport (Kyiv, Ukraine)

dnkolga@gmail.com

In modern sports, competitive activity is considered a key aspect of the study and implementation of functional reserves in sportsmen. Physiological load, psycho-emotional state and motivation determine adaptation processes and new opportunities in sports. The literature presents a variety of factors that structure the functional support of special performance in sportsmen, including qualitative and quantitative characteristics of the rapid kinetics of physiological processes, steady state and development of reactions. These components are based on highly specialised reactive properties of the organism that determine its ability to respond quickly, efficiently and entirely to physical activity.

The article describes a study of the functional support of kayakers specialising in 200 and 1000 metres. This made it possible to identify differences in the functioning of the respiratory system and energy supply during the modulation of physical activity at the level of competition. The results of physiological testing revealed differences in the respiratory system and energy supply at the level of competitive activity. Rowers specialising in the distance of 200 m have expressed quantitative and qualitative characteristics that characterise the fast kinetics of physiological processes. At the same time, those who specialise in 1000 m demonstrate distinct quantitative and qualitative characteristics of stability and compensation of fatigue. The physiological load is assessed by the degree of increase in oxygen consumption, pulmonary ventilation and CO₂ production. The glycolytic capacity of the "critical" power as an anaerobic reserve is investigated.

Key words: functional capabilities, cardiorespiratory system, energy supply, fast kinetics, steady state, fatigue compensation, kayakers.

Connection of the publication with planned research works.

This work is a fragment of the research work of the Department of Medical and Biological Disciplines of the National University of Ukraine on Physical Education and Sport «Influence of exogenous and endogenous factors on the course of adaptive reactions of the body to physical activity of different intensity» (state registration number 012U108187).

Introduction.

In modern sports, competitive activity is considered a powerful stimulus for the search and realisation of functional reserves of sportsmen. There is a particular opinion that the whole spectrum of factors of providing competitive activity, namely physiological load, psychoemotional state, motivational and other mental aspects, have the most significant influence on highly specialised adaptation processes and actually on the realisation of new possibilities of sportsmen [1].

The particular literature presents a certain range of factors that form the structure of functional support of special performance of sportsmen [2]. The qualitative and quantitative characteristics of the fast kinetics of physiological processes [3], steady state and sustainable development of reactions [4, 5], and the ability to compensate for fatigue under conditions of high-intensity physical activity [6, 7] are presented. All of these components are based on highly specialised reactive properties of the organism that determine the ability to quickly, adequately and fully withstand physical activity.

It is known that the functional potential of a trained sportsman is a high level of aerobic (VO₂ max/kg: generalised model range 50,0-55,0 ml·min⁻¹·kg⁻¹ – women; 60,0-65,0 ml·min⁻¹·kg⁻¹ – men) and anaerobic energy supply (La max test 90 s: generalised model range 12,0-16,0 mmol·l⁻¹ – women; 16,0–20,0 mmol·l⁻¹ – men) [8].

The condition of high performance of sprinters is the ability to perform work against the background of high oxygen consumption (80% or more of VO₂ max or MOC) and mobilisation of anaerobic alactate and lactate (glycolytic) power [9]. In this case, anaerobic capacity is determined by increased glycolytic capacity (La CP) and the ability to «tolerate lactate» under conditions of sustained VO₂ max (La VO₂ max) [10].

The question arises: what factors influence the total mobilisation potential of sportsmen? Specific features of mobilisation of functional reserves are highly dependent on the reaction of the sportsmen's organism to changing conditions of formation of certain physiological states that arise in the conditions of competitive activity [11]. It is of particular importance in modern conditions when a large competitive competition requires the search for new reserves of mobilisation of the functional potential of sportsmen.

The reaction of sportsmen to physiological states largely depends on the individual's hyper, normo, or hypo type of reaction. It is also influenced by the natural dispositions of sportsmen and the specificity of the choice of training load modes, which together form a particular structure of reactions of the cardiorespiratory and energy systems, depending on the nature of the functional support of special performance [12].

In this sense, a convenient physiological model for studying the features of different mechanisms of adaptation to physical activity is kayaking at a distance of 200 and 1000 m, which differ in the structure of functional support of special performance. Determining common and distinctive factors of functional support of special performance depending on different conditions of competitive activity is an essential factor that allows the formation of the orientation of special loads.

The aim of the study.

Table 1 – Characteristics of indicators of monitoring of functional support of special performance of sportsmen

Indicator	Measurement units	Characteristics of the indicator
EqP _A CO ₂ test 10 (10 second test)	c. u.	Specific characteristics of pulmonary ventilation to the partial tension of CO ₂ in alveolar air (final fraction of exhaled air), $V_E \cdot \dot{P}_A \text{CO}_2$
EqVCO ₂ ⁻¹ test 30	c. u.	Specific characteristics of pulmonary ventilation to an increase in CO ₂ in exhaled air ($V_E \cdot \text{VCO}_2^{-1}$) during the period of load compensation (10-15 s of the recovery period)
EqVCO ₂ SSt (steady state)	c. u.	Specific characteristics of pulmonary ventilation to CO ₂ concentration in exhaled air ($V_E \cdot \text{PaCO}_2$) (for 30 s of steady state)
EqVO ₂ SSt	c. u.	Specific characteristics of pulmonary ventilation to O ₂ consumption ($V_E \cdot \text{VO}_2^{-1}$) for 30 s of steady state
EqVCO ₂ ⁻¹ SSt / EqVCO ₂ ⁻¹ CP (critical power)	%	Degree of increase in functional stress under conditions of fatigue development in the test «Critical load capacity» $V_E \cdot \text{VCO}_2^{-1} \text{ SSt} / V_E \cdot \text{VCO}_2^{-1} \text{ CP}$
EqVO ₂ SSt / EqVO ₂ CP	%	and $V_E \cdot \text{VO}_2^{-1} \text{ VO}_2 \text{ max SSt} / V_E \cdot \text{VO}_2^{-1} \text{ CP}$
VO ₂ max CP / VO ₂ max SSt 100%	%	Degree of change in oxygen consumption during the load of «critical» power, specific steady state and steady state development of the reaction
La test 30	mmol·l ⁻¹	Level of blood lactate concentration under conditions of maximising glycolytic capacity (anaerobic glycolytic capacity)
La VO ₂ max,	mmol·l ⁻¹	Level of blood lactate concentration at which the athlete has reached VO ₂ max
La CP	mmol·l ⁻¹	Level of blood lactate concentration under conditions of maximising glycolytic capacity (anaerobic glycolytic capacity)
La test 30 / La CP	%	Ratio of lactate energy supply capacity to total anaerobic reserve

To investigate the features of functional load of the organism of kayakers depending on the specifics of the competitive distance.

Object and research methods.

Spirometric and gas-analytical research were conducted with the help of the metabolometer Oxycon mobile (Jaeger). The Biosen S. line lab+ laboratory complex was used to measure lactate concentration. We recorded the indicators of O₂ consumption (V_{O₂}), CO₂ excretion (V_{CO₂}), and minute respiratory volume (V_E). On their basis, specific indicators of functional capac-

ity were calculated: EqP_ACO₂ ($V_E / P_A \text{CO}_2$), EqVCO₂ (V_E / VCO_2), EqVO₂ ($V_E / P_A \text{CO}_2$).

Physical activity was modelled using a Dansprint rowing ergometer. The examination of sportsmen was performed together with specialists from the National University of Ukraine on Physical Education and Sport and employees of the Lab of aquatic training monitoring and intervention of general administration of sport of China.

Contingent. Qualified sportsmen (men, n=36) specialising in kayaking. General data: 25.1±1.9 years, 86.7±4.2 kg, 182.1±1.4 cm.

According to the results of the time of overcoming a distance of 200 m and 1000 m rowers «sprinters», n=18 (time of passing a distance of 200 m – 36,100-36,980 s) and «stayers», n=18 (time of passing a distance of 1000 m – 30,0-32,0 s) were selected.

The values of indicators of MOC, power and capacity of anaerobic energy supply in all subjects were within the model standard for skilled kayakers [13] (respectively VO₂ max – 62,3-

71,3 ml·min⁻¹·kg⁻¹, La max test 90 s – 15,8-21,8 mmol·l⁻¹), which testified to the homogeneity of the group in terms of functional potential.

All participants were informed about the study requirements, and their parents and coaches gave their informed written consent to participate. The Research Ethics Committee of the National University of Physical Education and Sport of Ukraine approved all procedures in the spirit of the Declaration of Helsinki.

In order to evaluate the structure of functional support of rowers' special performance and its control, a set of indicators was used [13], presented in **tables 1 and 2**.

The statistical package (SPSS 28) was used to analyse the obtained results. Non-parametric Wilcoxon criteria were applied to determine the statistical reliability of differences. The probability of error in the statistical analysis was set at p=0.05 (significance level).

Research results and their discussion.

The obtained data concerning the functional support of special performance of skilled rowers allowed to reveal differences in its structure in rowers «sprinters» and «stayers» (**table 3**).

According to the data presented in **table 3**, it is clearly seen that the quantitative and qualita-

Table 2 – Content of functional support control and chronogram of its implementation during the examination of kayakers

Test tasks	Indicators
Assessment focus: rapid reaction kinetics	
Test 10 seconds (test 10)	EqPaCO ₂
Recovery time 1 minute	
Test 30 seconds (test 30)	EqCO ₂ La
Recovery time is 7 minutes. Blood sampling for lactate measurement takes place at 3 and 5 minutes, the higher value is recorded.	
Assessment focus: steady state reactions	
Step test: 1 step 150 – W, 2 (3, 4 ...) steps + 20 W; Dansprint ergometer	EqCO ₂ SSt; EqVO ₂ ⁻¹ SSt; La VO ₂ max; VO ₂ max
Recovery time is 7 minutes. Blood sampling for lactate measurement takes place at 3 and 5 minutes, the higher value is recorded.	
Assessment focus: fatigue compensation in the process of performing a load with a «critical» work capacity (test 90 s)	
Critical power test, 90 seconds (CP)	VO ₂ max CP / VO ₂ max SSt 100%; $V_E \cdot \text{VCO}_2^{-1} \text{ SSt} / V_E \cdot \text{VCO}_2^{-1} \text{ CP}$; $V_E \cdot \text{VO}_2^{-1} \text{ SSt} / V_E \cdot \text{VO}_2^{-1} \text{ CP}$; La CP, La test 30 / La CP
Recovery of heart rate to 120 beats per minute ⁻¹ , the recovery time is recorded.	
Blood sampling for lactate measurement – 3 and 5 minutes, the higher value is recorded.	

tive characteristics that determine the level of fast kinetics dominate in «sprinters». At the same time, significant differences ($p<0.05$) were recorded in the characteristics of the ratio of pulmonary ventilation to EqPaCO_2 and blood lactate concentration under conditions of maximising glycolytic power (La test 30). A clear tendency to differences was determined when comparing the characteristics of the response of pulmonary ventilation to an increase in CO_2 in the inhaled air (EqVCO_2 test 30) during the compensation period for the effects of exercise (10-15 s of the recovery period).

The quantitative and qualitative characteristics that determine the level of resistance and compensation for fatigue dominate in the «stayers». Significant differences ($p<0.05$) were registered in the specific characteristics of pulmonary ventilation to CO_2 emission and oxygen consumption (EqVCO_2 and EqVCO_2), which were registered in the steady state. Particularly noteworthy are the data characterising the possibilities of fatigue compensation. A significant increase in pulmonary ventilation and energy supply response characterises increased exercise stress. The most expressive factor of growth of functional support of the load of «critical» power in «stayers» is a significant increase in the reaction of the external respiratory system aimed at compensating for metabolic acidosis and the need to increase oxygen consumption (EqO_2 SSt / EqO_2 CP and VO_2 max CP / VO_2 max SSt), respectively, in the dynamics of maintaining a steady state, which gradually turns into a quasi-steady state.

The nature of changes in blood lactate concentration is noteworthy. Significant constancy of «lactate tolerance» (La VO_2 max) is one of the most informative characteristics of endurance. They form the prerequisites for maintaining VO_2 max under conditions of significant lactate acidosis, which is typical for strenuous training and competition loads.

At the same time, the data in **table 3** show no differences in the values of anaerobic capacity (La CR). The generalised data indicate the presence of anaerobic potential in both sprinters and stayers, but the analysis revealed that its implementation mechanisms are different. We are talking about analysing the ratio of anaerobic capacity and anaerobic power (La test CP / La test 30s). Thus, the ratio for «sprinters» is 58.3 / 41.7%, and for «stayers» – 31.6 / 68.4%. There are clear regularities of mobilisation of power of anaerobic energy supply in «sprinters» rowers that promote the inclusion of high-speed and power capabilities of sportsmen and their realisation in short-term high-intensity loads. In rowers specialising in the 1000m distance, there is an increase in the capacity of glycolytic energy supply and its implementation during the competitive distance. Under con-

Table 3 – Indicators of functional support of special performance of qualified rowers (n=36)

Statistical indicators	EqPaCO_2 test 10	EqCO_2 test 30	La test 30	EqVO_2 SSt	EqCO_2 SSt	La VO_2 max	EqO_2 SSt / EqO_2 CP, %	EqCO_2 SSt / EqCO_2 CP, %	VO_2 max CP / VO_2 max SSt, 100%	La CP	La CP / La test 30 *100, %
Rowers who specialise in the 200 m distance (n=18)											
$\bar{x}$	2,4	35,5	10,5	39,3	39,1	12,2	3,8	5,0	1,4	18,0	41,7
S	0,2	1,3	0,5	1,3	1,2	0,5	0,2	0,3	0,1	0,6	0,5
min	1,9	29,0	8,1	35,1	35,0	11,0	3,3	4,4	1,0	14,2	43
max	3,1	41,1	12,3	42,8	42,2	13,7	4,2	5,4	1,7	19,8	34,6
25%	2,1	33,5	7,9	37,3	35,7	10,2	4,0	4,6	1,1	15,6	49,4
75%	2,9	39,9	9,6	42,9	39,9	12,8	4,3	5,6	1,6	18,3	48,1
Rowers who specialise in the 1000 m distance (n=18)											
$\bar{x}$	2,2*	33,1	7,1*	41,9*	41,9*	15,0*	4,5*	6,2*	4,4*	19,0	68,4*
S	0,2	1,3	0,4	1,2	1,1	0,5	0,2	0,1	0,15	0,7	1,0
min	1,8	27,0	6,0	37,9	38,1	12,9	4,1	5,7	4,0	16,0	63,1
max	2,9	38,1	8,2	44,0	43,9	17,4	5,1	6,5	4,9	21,6	70,9
25%	1,9	31,0	5,5	38,9	39,0	13,9	4,2	5,9	4,1	17,8	67,0
75%	2,7	36,7	7,7	42,0	42,8	16,5	4,7	6,4	4,7	19,2	69,3

Note: * differences between «sprinters» and «stayers» are statistically significant at $p<0.05$.

ditions of prolonged load, this contributes to an increase in the manifestations of power and special endurance.

The existing differences between «sprinters» and «stayers» are especially manifested in the analysis of individual characteristics of preparedness, which are oriented to the maximum values of physiological indicators according to the specialisation of sportsmen (**table 4**).

According to the above characteristics, the possibilities of realisation of rowers' functional reserves are formed according to a certain specialisation. Stimulation of the formation of a functional system on a concrete organisation of physiological processes which provide adaptation to the realisation of reserve possibilities of an organism, creates prerequisites for the increase of speed of deployment of aerobic energy supply at sportsmen «stalwarts» (an increase of reaction of V_E on the increase of $P_A\text{CO}_2$). At the same time, the growth of the reaction of respiratory compensation of metabolic acidosis influences the state of functional maintenance of

Table 4 – Comparative characteristic ($\bar{x} + S < n_{\text{max}}$) of functional support of special performance of rowers (n=36)

Indicators	Range $\bar{x} + S < n_{\text{max}}$	
	«Sprinters»	«Stayers»
EqPaCO_2 test 10	2,6-3,1	2,4-2,9
EqCO_2 test 30	36,8-41,1	34,4-38,1
La test 30	11,0-12,3	7,5-8,2
EqVO_2 SSt	40,6-42,8	43,1-44,0
EqCO_2 SSt	40,3-42,2	43,0-43,9
La VO_2 max	12,7-13,7	15,5-17,4
EqO_2 SSt / EqO_2 CP	4,0-4,4	4,7-5,1
EqCO_2 SSt / EqCO_2 CP	5,3-5,6	6,3-6,5
VO_2 max CP / VO_2 max SSt, 100%	1,5-1,7	4,65-4,9
La CP	18,6-19,8	19,7-21,6
La test 30 / La CP	34,6,2-43,2	69,4-70,9

working capacity in the process of training loads of predominantly anaerobic orientation.

Conclusions.

1. The qualitative and quantitative differences in the reaction of physiological tension of the respiratory system and energy supply of rowers in the conditions of modelling loads of competitive activity were determined.

2. It has been established that physiological reactions of fast kinetics dominate in «sprinters» and «stayers» – those that determine the level of stability and compensation of fatigue.

3. The revealed differences in functional support of special performance are clearly manifested in the analysis

of the results presented in the article and conducted monitoring of functional support of the special performance of sportsmen.

Prospects for further research.

A promising direction for further research is to improve the complex monitoring of determining the functional support of special performance of sportsmen by supplementing the functional approach presented in the article with the use of qualitative and quantitative analysis of the modes of mass transfer of respiratory gases in the body during loads of different intensity, as well as assessing their efficiency and effectiveness, the speed of deployment of physiological processes in the transitional periods of changes in functioning.

DOI 10.29254/2077-4214-2023-4-171-99-107

УДК 796.015.1:797.123.1(045)

Дяченко О. А., Коломафе Д. О., Філіппов М. М., Ільїн В. М., Го Женхао

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВЕСЛУВАЛЬНИКІВ

Національний університет фізичного виховання і спорту України (м. Київ, Україна)

dnkolga@gmail.com

В сучасному спорті змагальна діяльність вважається ключовим аспектом для вивчення та реалізації функціональних резервів у спортсменів. Фізіологічне навантаження, психоемоційний стан та мотивація визначають адаптаційні процеси та нові можливості у спорті. Літературно представлено різноманітні фактори, які структурують функціональне забезпечення спеціальної працездатності у спортсменів, включаючи якісні та кількісні характеристики швидкої кінетики фізіологічних процесів, стійкого стану та розвитку реакцій. Ці компоненти базуються на високоспеціалізованих реактивних властивостях організму, що визначають його здатність швидко, ефективно та в повній мірі реагувати на фізичні навантаження.

У статті описане дослідження функціонального забезпечення веслувальників на байдарках, що спеціалізуються на дистанціях 200 та 1000 метрів. Це дало змогу виявити розбіжності у функціонуванні респіраторної системи та енергозабезпечення під час модуляції фізичного навантаження на рівні змагального. Результати фізіологічного тестування виявили відмінності у роботі респіраторної системи та енергозабезпеченні на рівні змагальної діяльності. Веслувальники, що спеціалізуються на дистанції 200 м. мають виражені кількісні та якісні характеристики, які характеризують швидку кінетику фізіологічних процесів. У той час як ті, хто спеціалізується на 1000 м., демонструють виразні кількісні та якісні характеристики стійкості та компенсації втоми. Фізіологічне навантаження оцінюється за ступенем збільшення споживання кисню, легеневої вентиляції та виділення CO₂. Досліджено гліколітичну ємність "критичної" потужності як анаеробного резерву.

Ключові слова: функціональні можливості, кардіореспіраторна система, енергозабезпечення, швидка кінетика, стійкий стан, компенсація втоми, веслувальники на байдарках.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Дана робота фрагментом науково-дослідної роботи кафедри медико-біологічних дисциплін Національного університету фізичного виховання і спорту України «Вплив екзогенних та ендогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (державний реєстраційний номер 012U108187).

Вступ.

В сучасному спорті змагальна діяльність розглядається як потужний стимул пошуку і реалізації функціональних резервів спортсменів. Склалася певна думка, що увесь спектр факторів забезпечення змагальної діяльності, а саме фізіологічне навантаження, психоемоційний стан, мотиваційні та інші ментальні фактори мають найбільш значні впливи на

високоспеціалізовані адаптаційні процеси, і власне на реалізацію нових можливостей спортсменів [1].

В спеціальній літературі представлено певний спектр факторів, які формують структуру функціонального забезпечення спеціальної працездатності спортсменів [2]. Представлені якісні та кількісні характеристики швидкої кінетики фізіологічних процесів [3], стійкого стану та сталого розвитку реакцій [4, 5], спроможності компенсації втоми в умовах високої інтенсивності фізичних навантажень [6, 7]. Всі ці компоненти ґрунтуються на високоспеціалізованих реактивних властивостях організму, які визначають спроможність швидко, адекватно і в повній мірі витримувати фізичні навантаження.

Відомо, що наявністю функціонального потенціалу тренуваного спортсмена є високий рівень потужності аеробного (VO₂ max / kg: узагальнений модель-

ний діапазон 50,0-55,0 ml·min⁻¹·kg⁻¹ – жінки; 60,0-65,0 ml·min⁻¹·kg⁻¹ – чоловіки) і анаеробного енергозабезпечення (La max test 90 s: узагальнений модельний діапазон 12,0-16,0 mmol·l⁻¹ – жінки; 16,0–20,0 mmol·l⁻¹ – чоловіки) [8].

Умовою високої працездатності спортсменів – спринтерів є спроможність виконувати роботу на тлі високого споживання кисню (80% і більше від VO₂ max або МСК) та мобілізації анаеробної алактатної та лактатної (гліколітичної) потужності [9]. При цьому анаеробні можливості визначаються збільшеними гліколітичної ємності (La CP) і спроможністю до «переносимості лактату» в умовах стійкого утримання VO₂ max (La VO₂ max) [10].

Постає питання, які фактори впливають на сумарний мобілізаційний потенціал спортсменів? Специфічні особливості мобілізації функціональних резервів мають велику залежність від реакції організму спортсменів на мінливі умови формування певних фізіологічних станів, які виникають в умовах змагальної діяльності [11]. Це має особливе значення в сучасних умовах, коли велика змагальна конкуренція вимагає пошук нових резервів мобілізації функціонального потенціалу спортсменів.

Реакція спортсменів на фізіологічні стани багата в чому залежить від індивідуального гіпер, нормо чи гіпо типу реакції. На це також впливають природні задатки спортсменів і специфічність вибору режимів тренувальних навантажень, які разом формують певну структуру реакцій кардіореспіраторної і енергетичної систем в залежності від характеру функціонального забезпечення спеціальної працездатності [12].

В цьому сенсі зручною фізіологічною моделлю для вивчення особливостей різних механізмів адаптації до фізичних навантажень є веслування на байдарках на дистанції 200 і 1000 м, які відрізняються структурою функціонального забезпечення спеціальної працездатності. Визначення загальних і відмінних чинників функціонального забезпечення спеціальної працездатності в залежності від різних умов змагальної діяльності є суттєвим фактором, який дозволяє формувати спрямованість спеціальних навантажень.

Мета дослідження.

Дослідити особливості функціонального навантаження організму веслувальників на байдарках в залежності від специфіки змагальної дистанції.

Об'єкт і методи дослідження.

Проводили спірометричні та газоаналітичні дослідження за допомогою метаболіметра Oxycon mobile (Jaeger). Для виміру концентрації лактату використовували лабораторний комплекс «Biosen S. line lab+»). Реєстрували показники споживання O₂ (V'O₂), виділення CO₂ (V'CO₂), хвилинного об'єму дихання (V_E). На їх основі розраховували питомі показники функціональних можливостей: EqP_ACO₂ (V_E / P_ACO₂), EqVCO₂ (V_E / VCO₂), EqVO₂ (V_E / P_ACO₂).

Фізичні навантаження моделювали за допомогою веслувального ергометра Dansprint. Обстеження спортсменів здійснювали разом з спеціалістами Національного університету фізичного виховання та спорту України та співробітниками лабораторії Lab of aquatic training monitoring and intervention of general administration of sport of China.

Контингент. Кваліфіковані спортсмени (чоловіки, n=36), які спеціалізуються у веслуванні на байдарках. Загальні дані: 25,1±1,9 років, 86,7±4,2 кг, 182,1±1,4 см.

За результатами часу долаття дистанції 200 м і 1000 м були відібрані веслувальники «спринтери», n=18 (час проходження дистанції 200 м – 36,100–36,980 с) і «стаєри», n=18 (час проходження дистанції 1000 м – 30,0–32,0 с).

Значення показників МСК, потужності і ємності анаеробного енергозабезпечення у всіх обстежених знаходилися в межах модельного нормативу для кваліфікованих веслувальників на байдарках [13] (відповідно VO₂ max – 62,3–71,3 ml·min⁻¹·kg⁻¹, La max test 90 s – 15,8–21,8 mmol·l⁻¹), що свідчило про однорідність групи за функціональним потенціалом.

Всі учасники були проінформовані про вимоги до дослідження, а їхні батьки та тренери дали свою інформовану письмову згоду на участь. Комітет з етики досліджень Національного університету фізичного виховання і спорту України у дусі Гельсінської декларації схвалив усі процедури.

З метою оцінки структури функціонального забезпечення спеціальної працездатності веслувальників і його контролю застосовували комплекс показників [13], які представлені в **таблицях 1 і 2**.

Для аналізу отриманих результатів був використаний статистичний пакет (SPSS 28). Для визначення статистичної достовірності розбіжностей були застосовані непараметричні критерії Уїлкінсона. Вірогідність помилки при статистичному аналізі встановлювалась на рівні p=0,05 (рівень значущості).

Результати дослідження та їх обговорення.

Отримані дані стосовно функціонального забезпечення спеціальної працездатності кваліфікованих веслувальників дозволили виявити відмінності його структури у веслувальників «спринтерів» та «стаєрів» (**табл. 3**).

Згідно представлених в **таблиці 3** даних виразно видно, що у «спринтерів» домінують кількісні та якісні характеристики, що визначають рівень швидкої кінетики. При цьому, значущі відмінності (p<0,05) зареєстровані за характеристиками відношення легеневої вентиляції до EqP_ACO₂ і концентрацією лактату крові в умовах максимізації гліколітичної потужності (La test 30). Виразну тенденцію до відмінностей визначено при порівнянні характеристик реакції легеневої вентиляції до збільшення CO₂ у вдихуваному повітрі (EqVCO₂ test 30) в період компенсації впливу навантаження (10-15 с відновлювального періоду).

У «стаєрів» домінують кількісні та якісні характеристики, які визначають рівень стійкості і компенсації втоми. Значущі відмінності (p<0,05) зареєстровані за питомими характеристиками легеневої вентиляції до викиду CO₂ і споживання кисню (EqVCO₂ і EqVCO₂), які були зареєстровані в умовах стійкого стану. Особливу увагу заслуговують дані, які характеризують можливості компенсації втоми. Збільшення напруження навантаження характеризується значущим збільшенням реакції легеневої вентиляції і енергозабезпечення. Найбільш виразним чинником зростання функціонального забезпечення навантаження «критичної» потужності у «стаєрів» є суттєве зростання реакції системи зовнішнього дихання, спрямованої на компенсацію метаболічного ацидозу і

Таблиця 1 – Характеристика показників моніторингу функціонального забезпечення спеціальної працездатності спортсменів

Показник	Одиниці виміру	Характеристика показника
$\text{EqP}_{\text{CO}_2} \text{ test 10}$ (тест 10 секунд)	у. о.	Питомі характеристики легеневої вентиляції до парціального напруження CO_2 в альвеолярному повітрі (кінцева фракція повітря, що видихається), $V_E \cdot P_{\text{ACO}_2}$
$\text{EqVCO}_2^{-1} \text{ test 30}$	у. о.	Питомі характеристики легеневої вентиляції до збільшення CO_2 у повітрі ($V_E \cdot \text{VCO}_2^{-1}$), що видихається в період компенсації впливу навантаження (10-15 с відновлювального періоду)
$\text{EqVCO}_2 \text{ SSt (steady state)}$	у. о.	Питомі характеристики легеневої вентиляції до концентрації CO_2 у повітрі ($V_E \cdot P_{\text{ACO}_2}$), що видихається (за 30 с стійкого стану)
$\text{EqVO}_2 \text{ SSt}$	у. о.	Питомі характеристики легеневої вентиляції до споживання O_2 ($V_E \cdot \text{VO}_2^{-1}$) за 30 с стійкого стану
$\text{EqVCO}_2^{-1} \text{ SSt} / \text{EqVCO}_2^{-1} \text{ CP}$ (critical power / критична потужність)	%	Ступінь збільшення функціонального напруження в умовах розвитку втоми в тесті «Критична потужність навантаження» $V_E \cdot \text{VCO}_2^{-1} \text{ SSt} / V_E \cdot \text{VCO}_2^{-1} \text{ CP}$ і $V_E \cdot \text{VO}_2^{-1} \text{ VO}_2 \text{ max SSt} / V_E \cdot \text{VO}_2^{-1} \text{ CP}$
$\text{EqVO}_2 \text{ SSt} / \text{EqVO}_2 \text{ CP}$	%	
$\text{VO}_2 \text{ max CP} / \text{VO}_2 \text{ max SSt} 100\%$	%	Ступінь зміни вживання кисню протягом навантаження «критичної» потужності питомі стійкого стану і сталого розвитку реакції
La test 30	mmol·l ⁻¹	Рівень концентрації лактату крові в умовах максимізації гліколітичної потужності (анаеробна гліколітична потужність)
La $\text{VO}_2 \text{ max}$,	mmol·l ⁻¹	Рівень концентрації лактату крові, при якому спортсмен досяг $\text{VO}_2 \text{ max}$
La CP	mmol·l ⁻¹	Рівень концентрації лактату крові в умовах максимізації гліколітичної ємності (анаеробна гліколітична ємність)
La test 30 / La CP	%	Відношення ємності лактатного енергозабезпечення від загального анаеробного резерву

необхідність збільшення споживання кисню ($\text{EqO}_2 \text{ SSt} / \text{EqO}_2 \text{ CP}$ і $\text{VO}_2 \text{ max CP} / \text{VO}_2 \text{ max SSt}$) відповідно динаміки утримання стійкого стану, який поступово переходить в квазістійкий.

Звертають на себе увагу характер змін концентрації лактату крові. Значуща сталість «переносимості лактату» (La $\text{VO}_2 \text{ max}$) є одними із найбільш інформативних характеристик витривалості. Вони формують передумови утримання $\text{VO}_2 \text{ max}$ в умовах значного лактат-ацидозу, характерного для напружених тре-

нувальних і змагальних навантажень.

Разом з тим, з даних, наведених в таблиці 3, видно відсутність відмінностей величин анаеробної ємності (La CP). Узагальнені дані свідчать про наявність анаеробного потенціалу як у «спринтерів», так і у «стаєрів», але в процесі аналізу було виявлено, що механізми його реалізації різні. Мова йде про аналіз співвідношення анаеробної ємності і анаеробної потужності (La test CP / La test 30s). Так, співвідношення у «спринтерів» знаходиться на рівні 58,3 / 41,7%, а у «стаєрів» – 31,6 / 68,4%. У веслувальників «спринтерів» простежуються чіткі закономірності мобілізації потужності анаеробного енергозабезпечення, що сприяє включенню швидко-силових можливостей спортсменів і їх реалізацію в процесі короткострокових високоінтенсивних навантажень. У веслувальників, які спеціалізуються на дистанції 1000м, спостерігається збільшення ємності гліколітичного енергозабезпечення, його реалізація протягом проходження змагальної дистанції. В умовах тривалого навантаження це сприяє збільшенню проявів силової і спеціальної витривалості.

Наявні відмінності «спринтерів» і «стаєрів» особливо проявляються при аналізі індивідуальних характеристик підготовленості, які орієнтовані на максимальні значення фізіологічних показників відповідно спеціалізації спортсменів (табл. 4).

Згідно наведеним характеристикам можливості реалізації функціональних резервів веслувальників формуються відповідно певної спеціалізації. Стимуляція формування функціональної системи на конкретну організацію фізіологічних процесів, які забезпечують пристосування до реалізації резервних можливостей організму, створюють передумови збільшення швидкості розгортання аеробного енергозабезпечення у спортсменів «стаєрів» (збільшенням реакції V_E на збільшення P_{ACO_2}). При цьому зростання реакції дихальної компенсації метаболічного ацидозу дозволяє впливати на стан функціонального забезпечення працездатності в процесі тренувальних навантажень переважно анаеробної спрямованості.

Таблиця 2 – Зміст контролю функціонального забезпечення та хронограма його проведення в процесі обстеження веслувальників на байдарках

Тестові завдання	Показники
Спрямованість оцінювання: швидка кінетика реакції	
Тест 10 секунд (test 10)	EqPaCO_2
Час відновлення 1 хвилини	
Тест 30 секунд (test 30)	EqCO_2
Час відновлення 7 хвилин. Забір крові для виміру лактату – 3 та 5 хвилини, реєструється вищий показник.	La
Спрямованість оцінювання: стійкий стан реакцій	
Степ тест: 1 сходинка 150 – Вт, 2 (3, 4 ...) сходинка + 20 Вт; ергометр Dansprint	$\text{EqCO}_2 \text{ SSt}; \text{EqVO}_2^{-1} \text{ SSt}; \text{La VO}_2 \text{ max}; \text{VO}_2 \text{ max}$
Час відновлення 7 хвилин. Забір крові для виміру лактату – 3 та 5 хвилини, реєструється вищий показник.	
Спрямованість оцінювання: компенсація втоми в процесі виконання навантаження з «критичною» потужністю роботи (test 90 s)	
Тест «критична» потужність, 90 секунд (CP)	$\text{VO}_2 \text{ max CP} / \text{VO}_2 \text{ max SSt} 100\%; V_E \cdot \text{VCO}_2^{-1} \text{ SSt} / V_E \cdot \text{VCO}_2^{-1} \text{ CP}; V_E \cdot \text{VO}_2^{-1} \text{ SSt} / V_E \cdot \text{VO}_2^{-1} \text{ CP}; \text{La CP}, \text{La test 30} / \text{La CP}$
Відновлення ЧСС до 120 скор.·хв ⁻¹ , реєструється час відновлення.	
Забір крові для виміру лактату – 3 та 5 хвилини, реєструється вищий показник.	

Висновки.

1. Визначені якісні та кількісні відмінності реакції фізіологічного напруження респіраторної системи і енергозабезпечення веслувальників в умовах моделювання навантажень змагальної діяльності.

2. Встановлено, що у веслувальників «спринтерів» домінують фізіологічні реакції швидкої кінетики. У веслувальників «стаєрів» – такі, що визначають рівень стійкості і компенсації втоми.

3. Виявлені відмінності функціонального забезпечення спеціальної працездатності виразно проявляються при аналізі результатів представлено в статті і проведеного моніторингу функціонального забезпечення спеціальної працездатності спортсменів.

Перспективи подальших досліджень.

Перспективним напрямом подальших досліджень є вдосконалення комплексного моніторингу визначення функціонального забезпечення спеціальної працездатності спортсменів шляхом доповнення до представлено в статті функціонально підходу використання якісного і кількісного аналізу режимів масоперенесення респіраторних газів в організмі при навантаженнях різної інтенсивності, а також оцінка їх економічності і ефективності, швидкості розгортання фізіологічних процесів в перехідних періодах змін функціонування.

Таблиця 3 – Показники функціонального забезпечення спеціальної працездатності кваліфікованих веслувальників (n=36)

Статистичні показники	EqPaCO ₂ test 10	EqCO ₂ test 30	La test 30	EqVO ₂ Sst	EqCO ₂ Sst	La VO ₂ max	EqO ₂ Sst / EqO ₂ CP, %	EqCO ₂ Sst / EqCO ₂ CP, %	VO ₂ max CP / VO ₂ max Sst, 100%	La CP	La CP / La test 30 *100, %
Веслувальники, які спеціалізуються на дистанція 200 м (n=18)											
$\bar{x}$	2,4	35,5	10,5	39,3	39,1	12,2	3,8	5,0	1,4	18,0	41,7
S	0,2	1,3	0,5	1,3	1,2	0,5	0,2	0,3	0,1	0,6	0,5
min	1,9	29,0	8,1	35,1	35,0	11,0	3,3	4,4	1,0	14,2	43
max	3,1	41,1	12,3	42,8	42,2	13,7	4,2	5,4	1,7	19,8	34,6
25%	2,1	33,5	7,9	37,3	35,7	10,2	4,0	4,6	1,1	15,6	49,4
75%	2,9	39,9	9,6	42,9	39,9	12,8	4,3	5,6	1,6	18,3	48,1
Веслувальники, які спеціалізуються на дистанція 1000 м (n=18)											
$\bar{x}$	2,2*	33,1	7,1*	41,9*	41,9*	15,0*	4,5*	6,2*	4,4*	19,0	68,4*
S	0,2	1,3	0,4	1,2	1,1	0,5	0,2	0,1	0,15	0,7	1,0
min	1,8	27,0	6,0	37,9	38,1	12,9	4,1	5,7	4,0	16,0	63,1
max	2,9	38,1	8,2	44,0	43,9	17,4	5,1	6,5	4,9	21,6	70,9
25%	1,9	31,0	5,5	38,9	39,0	13,9	4,2	5,9	4,1	17,8	67,0
75%	2,7	36,7	7,7	42,0	42,8	16,5	4,7	6,4	4,7	19,2	69,3

Примітка: * відмінності «спринтерів» і «стаєрів» статистично значущі при p<0,05.

Таблиця 4 – Порівняльна характеристика ($\bar{x}+S<n_{max}$) функціонального забезпечення спеціальної працездатності веслувальників (n=36)

Показники	Діапазон $\bar{x}+S<n_{max}$	
	«Спринтери»	«Стаєри»
EqPaCO ₂ test 10	2,6-3,1	2,4-2,9
EqCO ₂ test 30	36,8-41,1	34,4-38,1
La test 30	11,0-12,3	7,5-8,2
EqVO ₂ Sst	40,6-42,8	43,1-44,0
EqCO ₂ Sst	40,3-42,2	43,0-43,9
La VO ₂ max	12,7-13,7	15,5-17,4
EqO ₂ Sst / EqO ₂ CP	4,0-4,4	4,7-5,1
EqCO ₂ Sst / EqCO ₂ CP	5,3-5,6	6,3-6,5
VO ₂ max CP / VO ₂ max Sst, 100%	1,5-1,7	4,65-4,9
La CP	18,6-19,8	19,7-21,6
La test 30 / La CP	34,6,2-43,2	69,4-70,9

References / Література

- Haff GG, Triplett NT. Essentials of Strength Training and Conditioning. USA: Human Kinetics; 2015. 722 p.
- Guo P, Kong X, Dyachenko A. Funktsionalnaya podgotovka sportsmenov v vodnykh vydakh sporta. NPF Slavutych-Delfyn; 2021. 244 s.
- Diachenko A, Pengcheng G, Yevpak N, Rusanova O, Kipyrych S. Neurohumoral Components of Rapid Reaction Kinetics of the Cardio-Respiratory System of Kayakers. Sport Mont. 2021;19(S2):29-33.
- Durand F, Raberin A. Exercise-Induced Hypoxemia in Endurance Athletes: Consequences for Altitude Exposure. Front Sports Act Living. 2021;3:663674. DOI: [10.3389/fspor.2021.663674](https://doi.org/10.3389/fspor.2021.663674).
- Diachenko A, Leib W, Lisenchuk G, Denysova L, Lysenchuk S. Football Players' "Cardiorespiratory System and Intermittent Endurance" Test. Sport Mont. 2021;19(S2):23-27.
- Filippov M. Uslovyia obrazovaniya u perenosa uglekyslogo gaza v protsesse myshechnoy deyatel'nosti. Nauka v olymпыyskom sporte. 2019;4:17-23.
- Garnacho-Castaño MV, Albasa A, Serra-Payá N, Bataller MG, Feliú-Ruano R, Cano LG, et al. The Slow Component of Oxygen Uptake and Efficiency in Resistance Exercises: A Comparison with Endurance Exercises. Front Physiol. 2019;10:357.
- Vilaça-Alves J, Freitas NM, Saavedra FJ, Scott CB, dos Reis VM, Simão R, et al. Comparison of oxygen uptake during and after the execution of resistance exercises and exercises performed on ergometers, matched for intensity. J Hum Kinet. 2016;53:179-187.
- Tomiak T, Mishchenko V, Lusenko E, Diachenko A, Korol A. Effect of moderate and high-intensity training sessions on cardiopulmonary chemosensitivity and time-based characteristics of response in high-performance paddlers. Baltic Journal of Health and Physical Activity. 2014;6(3):218-28.
- Bompa T, Buzzichelli C. Periodization: Theory and Methodology of Training. 6th Edition. USA: Human Kinetics; 2018. 392 p.
- Liu Y, Steinacker JM, Stauch M. Does the threshold of transcutaneous partial pressure of carbon dioxide represent the respiratory compensation point or anaerobic threshold? Eur J Appl Physiol. 1995;71(4):326-31.
- Lysenko EN, Myshchenko VS. Yzmenenye reaktivnykh svoystv kardyorespyratornoj sistemy v protsesse u posle napriazhennoi fizycheskoj nahruczky. Sportyvna medytsyna. 2016;1:11-19. [in Ukrainian].

13. Van Veilun, Rusanova O, Diachenko A. Kontrol funkcionalnogo zabezpechennia spetsialnoi robotozdatnosti kvalifikovanykh vesluvalnykh z urakhuvanniam spetsializatsii u vesluvanni na baidarkakh i kanoe. Teoriia i metodyka fizychnoho vykhovannia i sportu. 2019;(2):92-100. [in Ukrainian].

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВЕСЛУВАЛЬНИКІВ

Дяченко О. А., Комолафе Д. О., Філіппов М. М., Ільїн В. М., Го Жєнхао

Резюме. У сучасному спорті змагальна діяльність розглядається як ключовий фактор для вивчення та реалізації функціональних резервів у спортсменів. Вважається, що фізіологічне навантаження, психоемоційний стан, мотивація та інші ментальні фактори мають визначальний вплив на адаптаційні процеси та нові можливості у спорті. Літературно представлено різноманітні фактори, які визначають структуру функціонального забезпечення спеціальної працездатності у спортсменів. Ці фактори включають якісні та кількісні характеристики швидкої кінетики фізіологічних процесів, стійкого стану, сталого розвитку реакцій, і спроможність компенсації втоми при високій інтенсивності фізичних навантажень. Ці компоненти базуються на високоспеціалізованих реактивних властивостях організму, які визначають його здатність ефективно витримувати фізичні навантаження.

В статті наведений аналіз функціонального забезпечення спортсменів з метою вивчення фізіологічних механізмів, які забезпечують результативність при певній структурі змагальної діяльності. Результати фізіологічного тестування показали особливості кількісних та якісних характеристик функціонального забезпечення фізичної працездатності веслувальників на байдарках, які спеціалізуються на дистанціях 200 і 1000 м. Це дозволило визначити відмінності функціонування респіраторної системи і енергозабезпечення роботи в умовах модуляції фізіологічного навантаження на рівні змагального. Виявлено, що у веслувальників, які спеціалізуються на дистанції 200 м, домінують кількісні та якісні характеристики, що свідчать про рівень швидкої кінетики фізіологічних процесів. Вони визначені за питомими показниками легеневої вентиляції відносно до парціального тиску CO_2 в альвеолярному повітрі, за концентрацією лактату крові в умовах максимізації гліколітичної потужності та іншими. У веслувальників, які спеціалізуються на дистанції 1000 м, домінують кількісні і якісні характеристики стійкості реакцій та компенсації втоми, які визначаються за відношеннями легеневої вентиляції до споживання кисню і збільшенням CO_2 у видихуваному і альвеолярному повітрі в період стійкого стану, а також за концентрацією при цьому лактату крові. Характер фізіологічного навантаження визначався за ступенем приросту споживання кисню, легеневої вентиляції, виділення CO_2 . Вагомим чинником аналізу було дослідження гліколітичної ємності навантаження «критичної» потужності відповідно анаеробного резерву спортсменів.

Ключові слова: функціональні можливості, кардіореспіраторна система, енергозабезпечення, швидка кінетика, стійкий стан, компенсація втоми, веслувальники на байдарках.

CHARACTERISTICS OF FUNCTIONAL SUPPORT FOR SPECIALIZED PHYSICAL PERFORMANCE IN ROWERS

Diachenko O. A., Komolafe D. O., Filippov M. M., Ilyin V. M., Guo Zhenhao

Abstract. In modern sports, competitive activity is regarded as a key factor for studying and implementing athletes' functional reserves. It is believed that physiological load, psycho-emotional state, motivation, and other mental factors significantly influence adaptation processes and open up new possibilities in sports. The literature presents various factors that shape the structure of functional support for specialized performance in athletes. These factors encompass qualitative and quantitative characteristics of the rapid kinetics of physiological processes, stable states, consistent development of reactions, and the ability to compensate for fatigue during high-intensity physical exertion. These components rely on the highly specialized reactive properties of the body, determining its capacity to effectively withstand physical demands.

The article provides an analysis of the functional capabilities of athletes with the aim of studying the physiological mechanisms that contribute to performance in a specific structure of competitive activities. The results of physiological testing revealed distinctive quantitative and qualitative characteristics of the functional capacity of rowers in kayaks specializing in distances of 200 and 1000 meters. This allowed for the identification of differences in the functioning of the respiratory system and energy supply during the modulation of physiological load at the competitive level. It was found that rowers specializing in the 200 m distance exhibit dominant quantitative and qualitative characteristics indicative of a rapid kinetics level of physiological processes. These characteristics were determined by specific indicators of lung ventilation relative to partial pressure of CO_2 in alveolar air, lactate concentration in conditions of maximizing glycolytic power, and others. In contrast, rowers specializing in the 1000m distance demonstrate dominant quantitative and qualitative characteristics related to reaction stability and fatigue compensation. These characteristics were identified based on the ratios of lung ventilation to oxygen consumption, increased CO_2 in exhaled and alveolar air during the stable state, and lactate concentration. The nature of physiological stress was determined by the degree of increase in oxygen consumption, lung ventilation, and CO_2 excretion. An essential factor in the analysis was the investigation of the glycolytic capacity of the "critical" workload corresponding to the anaerobic reserve of athletes.

Key words: functional capabilities, cardiorespiratory system, energy supply, fast kinetics, stable state, fatigue compensation, rowers, kayakers.

ORCID and contributionship: / ORCID кожного автора та їх внесок до статті:

Diachenko O. A.: <https://orcid.org/0009-0003-8380-3713> ^{ABCD}

Komolafe D. O.: <https://orcid.org/000-0003-0279-0512> ^{ABCD}
 Filippov M. M.: <https://orcid.org/0000-0001-5096-7445> ^{AEF}
 Ilyin V. M.: <https://orcid.org/0000-0001-7140-0659> ^{EF}
 Guo Zhenhao: <https://orcid.org/0000-0002-2843-9301> ^{BC}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors declare no conflict of interest. / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Diachenko Olga Andriyivna / Дяченко Ольга Андріївна
 National University of Ukraine on Physical Education and Sport / Національний університет фізичного виховання і спорту України
 Ukraine, 03150, Kyiv, 1 Fizkultury str. / Адреса: Україна, 03150, м. Київ, вул. Фізкультури 1
 Tel.: +380500862125 / Тел.: +380500862125
 E-mail: dnkolga@gmail.com

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статистичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті

Received 24.05.2023 / Стаття надійшла 24.05.2023 року

Accepted 07.11.2023 / Стаття прийнята до друку 07.11.2023 року

DOI 10.29254/2077-4214-2023-4-171-107-116

UDC 611.12–053.13:546.48'131:546.461.4:616–091.8–092.9

Shatorna V. F., Lomyha L. L.

**ANALYSIS OF CHANGES IN THE MICROELEMENT STATUS OF THE HEART
 OF RATS DURING CHRONIC CADMIUM INTOXICATION**

Dnipro State Medical University (Dnipro, Ukraine)

verashatornaya67@gmail.com

Cadmium is a heavy metal that enters the body in various ways, is involved in metabolic processes, accumulates in various tissues and organs, and can cause pathological changes and diseases. For example, cadmium significantly impacts the liver and kidneys, nervous, cardiovascular and reproductive systems. Copper and zinc can compete with cadmium for certain receptors or metabolic pathways, which allows them to reduce their negative impact. It may open prospects for using copper and zinc as potential bioantagonists. This competitive process can lead to a reduction in the absorption of cadmium by cells, which in turn reduces its toxic effects. The interaction of cadmium with copper or zinc is a complex process, and the level of accumulation of these metals in female rat embryos and hearts, as well as heart mass index, may provide some insight into the toxicological and antagonistic nature of these interactions. Understanding these processes is important for developing strategies to protect against cadmium toxicity and further developing preventive measures to maintain heart health. The study was conducted on pregnant female Wistar rats throughout the entire gestation period, divided into four groups. Indicators of quantitative accumulation of cadmium, copper and zinc in embryos and hearts of females were analysed, and heart mass indexes of females in all four groups were calculated, which allowed us to identify certain patterns of effects and interactions of copper and zinc concerning cadmium.

Key words: heavy metals, cadmium, zinc, copper, heart, rat embryos.

Connection of the publication with planned research works.

The experimental study was conducted within the framework of the research work of the Department of Medical Biology, Pharmacognosy, Botany and Histology of DSMU, "Biological basis of morphogenesis of organs and animals under the influence of trace elements and ultramicroelements in the experiment" (state registration number 0118U006635).

Introduction.

Heavy metal ions that enter the body from the environment bind to many molecules in body tissues, including proteins and polysaccharides. In addition, many of these metals are biologically active and involved in various physiological and pathophysiological reactions. As a result of cadmium absorption by the body, it is easily transported [1] and distributed to tissues and organs,

causing negative effects on the body. Even in low doses, cadmium has a toxic effect on the nervous system, immune system, reproductive system, and cardiovascular system [2, 3]. Since cadmium is actively involved in physiological processes [4] and can cross the placental barrier, its accumulation leads to changes in the activity of various enzymes, shifts in the main morphological parameters, and significantly disrupts the balance of trace elements in the adult rat and embryos [5]. Cadmium can both increase the content of certain trace elements, causing their retention in tissues and organs and vice versa – cause significant losses of certain divalent cations, replacing them with itself. The level of cadmium accumulation depends on the dose, duration of intoxication, route of administration, the chemical formula of the compound, type of tissue or organ, age and physiological state of the organism.