

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

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

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Tarashevska Yuliya Yevheniyivna / Тарашевська Юлія Євгенівна

Poltava State Medical University / Полтавський державний медичний університет

Address: Ukraine, 36011, Poltava, 23 Shevchenko str / Адреса: Україна, 36011, м. Полтава, вул. Шевченка 23

Tel.: +380501949297 / Тел.: +380501949297

E-mail: yu.tarashevska@pdmu.edu.ua

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 19.12.2023 / Стаття надійшла 19.12.2023 року

Accepted 24.04.2024 / Стаття прийнята до друку 24.04.2024 року

DOI 10.29254/2077-4214-2024-2-173-323-338

UDC 519.876

Filippov M. M., Diachenko A. Yu., Diachenko O. A., Samsiy R. M., Komolafe D. O., Ilyin V. M.

METHODOLOGY OF A COMPLEX APPROACH TO DETERMINING THE FUNCTIONAL CAPABILITIES OF THE ATHLETES' BODY BY ANALYZING THE MODES OF GAS TRANSFER REGIMES AND ENERGY CHARACTERISTICS

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

dnkolga@gmail.com

The article presents conceptual ideas about the methodology of conducting complex physiological examinations of athletes in laboratory conditions, which allows for obtaining parameters of external respiration, blood circulation, oxygen consumption by the body, as well as characteristics of the volumetric rate of oxygen delivery to the lungs and alveoli, in a state of rest and during physical exertion, its transport by arterial and mixed venous blood, to analyze changes in the partial pressure of oxygen at different stages of its path in the body, to evaluate the efficiency of the cardiopulmonary system (CPS), the efficiency of oxygen mass transfer regimes (OMTR), as well as the quality of their regulation. The methodology of the integrated approach at the first stage includes the determination of a number of initial indicators, which are further used according to a certain scheme in the calculations of OMTR parameters and indicators of their efficiency, as well as the cost-effectiveness of CPS, etc. The structure of the functional support of the special working capacity of athletes with different orientations of adaptation reactions is shown. An evaluation of the structure of the CPS reaction is carried out according to the specificity of the OMTR features to predominantly hypoxic, hypercapnic or acidemic shifts. The qualitative and quantitative characteristics of the kinetics of physiological processes under conditions of high intensity of physical exertion are presented. A comprehensive approach allows you to identify qualitative differences in OMTR, the comparison of which provides detailed information not only about aerobic performance but also about what ensures it and what limits it, and therefore provides opportunities for finding new reserves for mobilizing the functional potential of athletes. All these components are based on the body's specialized reactive properties.

Key words: functional capabilities, cardiorespiratory system, oxygen mass transfer regimes, energy supply of specific work capacity.

Connection of the publication with planned research works.

This work is a fragment of the scientific research work of the Department of Medical and Biological Sciences 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 exertion of various intensities" (state registration number 012U108187).

Introduction.

In the modern conditions of high-performance sports, great competition requires the search for new reserves of mobilisation of the functional potential of athletes, so the problem of assessing the functional capabilities of the athletes' bodies is still relevant. Its successful solution is possible only on a strictly scientific basis.

Specific features of the mobilisation of functional reserves (energy power) are highly dependent on the reaction of the athletes' organism to physical activity, the formation of certain physiological states that arise in this case [1]. As is known [2], the reactivity of the cardiopulmonary system (CPS) and energy supply affect homeostatic shifts caused by certain physiological states, namely hypoxia, hypercapnia, and the level of concentration of anaerobic metabolic products in the blood, which results in changes in the efficiency of functional support for special work capacity.

Significant volumes of information obtained as a result of laboratory studies to determine the functional capabilities of athletes in various sports are diverse in content (the main characteristics of the body's integral respiratory system, cardiohemodynamics, blood gas transport capabilities, energy indicators, etc.), making it

difficult to process and qualitatively analyse it comprehensively.

The aim of the study.

To date, several methodological approaches represent the need to calculate various physiological indicators after laboratory tests, which form an idea of the body's functional state but are not aimed at determining the characteristics necessary to understand the energy potential of the athlete. The task of this study was to form a conceptual understanding of the possibilities of developing a methodology based on comprehensive physiological examinations of athletes in the laboratory, which allows obtaining complete information about the state of the body both at rest, during physical activity of varying intensity and in the recovery period after them.

Object and research methods.

The research object is the system of scientific and methodological support of high-class athletes. The considered types of control, methods of evaluation, and interpretation of indicators of functional diagnostics aim to determine functional reserves in accordance with the target instructions of athletes' training and competitive activities.

Conducting such studies requires the availability of the necessary diagnostic devices to determine the state of the cardiopulmonary system (CPS), for example, using the Oxycon mobile metabolimeter (Jaeger), micro-analyzer equipment for the biochemical analysis of blood parameters, for example, the laboratory complex "Biosen S. line lab+")) for measuring lactate concentration, devices for dosage of physical exertion, a special methodological base for current calculations of step-by-step movement of respiratory gases in the body, cost-effectiveness of CPS, etc.

If a comprehensive analysis of mass transfer modes in the body, including not only oxygen but also carbon dioxide, their interrelationships, and the organic process of exchange is required, a methodical approach similar to the study of the oxygen mode has been developed. This approach involves determining the conditions for the formation of carbon dioxide and calculating the quantitative characteristics of its mass transfer and removal from the body [3]. However, this paper focuses solely on the methodological approaches to the analysis of oxygen mass transport regimes (OMTR) and the conditions of their occurrence.

The methodology of an integrated approach includes simultaneous determination of certain parameters of external respiration, blood circulation, rate and intensity of oxygen supply to the lungs, alveoli, its transport by arterial and mixed venous blood, body consumption, partial pressure of oxygen at different stages of its movement in the body, analysis of the effectiveness and efficiency of OMTR, as well as their regulation at rest, during physical activity and in the process of recovery. At the same time, the structure of the CPS response is assessed according to the specifics of energy supply, OMTR features on predominantly hypoxic, hypercapnic or acidemic shifts [4].

It is proposed to use the following as test loads: 1) to determine the maximum aerobic performance – a load with maximum oxygen consumption (MOC, $\dot{V}O_{2\max}$); 2) to determine the maximum anaerobic capacity – a short-term (30-90 s) load of submaximal intensity with oxygen consumption of 65-80% of MOC; 3) to determine the maximum efficiency and economy of OMTR – a load

with oxygen consumption of 45-55% of MOC. It is also, depending on the research tasks, other loading schemes which model conditions of competitive activity can be used.

When analysing the information obtained in the course of the study, special attention is paid to changes in physiological processes in transient modes – from rest to exercise, from lower-intensity exercise to higher-intensity exercise, and from exercise to rest [5].

The main part.

The methodology of our integrated approach involves the determination of specific initial indicators, including:

- B – barometric pressure, *mm Hg*
- θ – water vapour pressure, *mm Hg*
- t^0 – ambient air temperature, $^{\circ}\text{C}$
- t_1^0 – body temperature, $^{\circ}\text{C}$
- A – age, years
- W – body weight, *kg*
- H – height, *cm*
- $\dot{V}_{I\text{ATPS}}$ – minute volume of inhaled air (*ml/min*) recorded at the temperature, barometric pressure and water vapour tension of the ambient air
- f – number of respiratory cycles per 1 minute
- $\dot{Q}$ – minute blood volume, *ml/min*
- Q – systolic blood volume, *ml* (If it is not possible to determine the systolic blood volume experimentally, the Starr formula is used [6].
- HR – heart rate per 1 minute
- S_p – systolic blood pressure, *mm Hg*
- D_p – diastolic blood pressure, *mm Hg*
- $F_{I\text{O}_2}$ – oxygen content in the inhaled air, *vol. %*
- $F_{E\text{O}_2}$ – oxygen content in exhaled air, *vol. %*
- $F_{A\text{O}_2}$ – oxygen content in the alveolar air, *vol. %*
- $C_{a\text{O}_2}$ – oxygen content in arterial blood, *vol. %*
- $C_{\bar{v}\text{O}_2}$ – oxygen content in mixed venous blood, *vol. %*
- $F_{I\text{CO}_2}$ – carbon dioxide content in the inhaled air, *vol. %*
- $F_{E\text{CO}_2}$ – carbon dioxide content in exhaled air, *vol. %*
- $F_{A\text{CO}_2}$ – carbon dioxide content in the alveolar air, *vol. %*
- $C_{a\text{CO}_2}$ – carbon dioxide content in arterial blood, *vol. %*
- $C_{\bar{v}\text{CO}_2}$ – carbon dioxide content in mixed venous blood, *vol. %*
- $C_{\max}\text{O}_2$ – oxygen capacity of the blood, *vol. %*
- Hb – hemoglobin, *g. %*
- $S_{a\text{O}_2}$ – oxygen saturation of arterial blood, *vol. %*
- $S_{\bar{v}\text{O}_2}$ – oxygen saturation of mixed venous blood, *vol. %*
- pH_a – arterial blood pH
- $pH_{\bar{v}}$ – pH of mixed venous blood
- La – lactate or lactic acid salts in capillary blood, $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$
- W_{ex} – ergometric work power, *W*

The calculation of OTMR parameters, indicators of their efficiency and cost-effectiveness is carried out using the following formulas presented in **table 1** [7].

If any of the experimentally determined parameters are missing, they can be calculated using the formulas given in **table 2**.

An integrated approach to OMTR analysis allows us to identify the links that limit the body's oxygen supply and related performance.

Table 1 – Formulas for calculating the parameters of the OMTR

Indicators	Formulas for calculation	Description of the indicator
External respiration		
F – STPD (Standard temperature (0°C or 273 K), pressure (760 mmHg), dry (dry air))	$F = 273 / 760 \times (B - b) / 273 + t^o$	Factor for bringing the obtained air volumes to standard conditions
F_t – BTPS (Body temperature, pressure, saturated)	$F_t = 273 / 760 \times (B - b) / 273 + t_1^o$	Factor for bringing the obtained air volumes to body temperature conditions
$\dot{V}_{I\text{STPD}}$ – minute volume of inhaled air, ml/min	$\dot{V}_{I\text{STPD}} = \dot{V}_{I\text{ATPS}} \times F$	It is used to calculate the rate of oxygen supply to the lungs and alveolar ventilation.
$\dot{V}_{E\text{STPD}}$ – minute volume of exhaled air, ml/min	$\dot{V}_{E\text{STPD}} = \dot{V}_{I\text{ATPS}} \times F$	It is used to assess lung function and calculate the rate of oxygen flow to the lungs.
$\dot{V}_D$ – physiological dead breathing space, ml/min	$\dot{V}_D = F_{EO_2} - F_{AO_2} / F_{IO_2} - F_{AO_2} \times V_I$	Sums the volume of air space that does not participate in the direct exchange of gases with capillary blood in the alveoli.
$\dot{V}_D / \dot{V}_I, \%$	$\dot{V}_D / \dot{V}_I = (F_{EO_2} - F_{AO_2}) / (F_{IO_2} - F_{AO_2}) \times 100$	Describes the percentage of lung volume that is not involved in gas exchange to the minute volume of inhaled air.
$\dot{V}_A$ – alveolar ventilation	$\dot{V}_A = \dot{V}_I - \dot{V}_D$	The volume remaining after subtracting dead space from the lung ventilation. It is used to calculate the rate of oxygen flow to the alveoli.
$V_{\text{T BTPS}}$ – respiratory volume	$V_{\text{T BTPS}} = V_{\text{E BTPS}} / f$	The volume of air that is ventilated through the lungs with each breath.
$\Delta cL O_2$ – lung diffusion capacity for oxygen, ml O_2 /min/mmHg	$\Delta cL O_2 = q_t O_2 / P_{AO_2} - P_{aO_2}$	Characterises the transfer of oxygen through the lung alveolar wall per unit time relative to the pressure gradient on both sides of the alveolar membrane.
Calculation of oxygen mass transfer modes in the body		
q_{IO_2} – oxygen flow rate to the lungs, ml/min	$q_{IO_2} = \dot{V}_{I\text{STPD}} \times F_{IO_2}$	<i>This is the first stage of the oxygen cascade.</i> At rest, about 1 litre of oxygen is delivered to the lungs in 1 minute. At maximum power, this can be up to 40 times more.
q_{EO_2} – rate of oxygen removal from the lungs, ml/min	$q_{EO_2} = \dot{V}_{E\text{STPD}} \times F_{EO_2}$	This indicator is used to calculate $q_t O_2$.
q_{AO_2} – oxygen flow rate to the alveoli, ml/min	$q_{AO_2} = q_{IO_2} \times \dot{V}_A / \dot{V}_I$ $q_{AO_2} = \dot{V}_{A\text{STPD}} \times F_{IO_2}$	This quantitative characteristic of oxygen supply to the alveoli depends on the ratio of $\dot{V}_A / \dot{V}_I$.
$q_a O_2$ – oxygen transport rate by arterial blood, ml/min	$q_a O_2 = \dot{Q}_x \times CaO_2$	<i>The third stage of the cascade of oxygen movement in the body,</i> it characterises the oxygen transport function of arterial blood and depends on the rate of volumetric blood flow and the concentration of oxygen in the blood.
$q_v O_2$ – oxygen transport rate by mixed venous blood, ml/min	$q_v O_2 = \dot{Q}_x \times C\bar{v}O_2$ $q_v O_2 = q_a O_2 - q_t O_2$	<i>This is the last stage of the oxygen cascade in the body</i> – the remaining oxygen is transported to the lungs. The quantitative characteristic of these residues changes little, but their ratio to consumption at rest is about ¼ (0.75), while at maximum loads it decreases to 0.2 or less
$q_t O_2$ ($\dot{V}O_2$) – oxygen consumption rate, ml/min	$q_t O_2 = q_{IO_2} - q_{EO_2}$ $q_t O_2 = \dot{Q}_x \times (CaO_2 - C\bar{v}O_2)$	<i>It is the main integral indicator of the intensity of energy processes in the body.</i> It can vary from 200-300 ml/min at rest and up to 5-7 litres/min or more during very intense physical activity.
$KU_L O_2$ – oxygen utilisation rate from inhaled air, %	$KU_L O_2 = (F_{IO_2} - F_{EO_2}) / F_{IO_2}$	Characterises the ability to extract oxygen from the air entering the lungs. At rest, the coefficient is ~ 25%, while during exercise it can vary depending on individual characteristics, the nature of metabolic processes, the state of training, etc.
$KU_t O_2$ – oxygen utilisation rate by tissues from arterial blood, %	$KU_t O_2 = C_{(a-v)} \bar{v}O_2 / C_a O_2$	This indicator can be used to assess the intensity of oxidative processes in working tissues, especially during physical activity.
Intensity of oxygen transport in the body		
q_{IO_2} / W – intensity of oxygen supply to the lungs, ml/min $\times$ kg	q_{IO_2} / W	It allows you to determine the specific values of oxygen supply to the lungs. The same total q_{IO_2} values at different body weights can be different when calculated per kg, which allows for additional analysis of the function of the respiratory system.
Q_{AO_2} / W – intensity of oxygen supply to the alveoli, ml/min $\times$ kg	Q_{AO_2} / W	Indicates the potential capabilities of the external respiratory apparatus in terms of specific oxygen supply to the alveoli.

q_aO_2/W – intensity of oxygen transport by arterial blood, $ml/min \times kg$	q_aO_2/W	The capacity of the cardiovascular system is determined in terms of the ability to provide a volumetric rate of oxygen transport per kg of body weight.
q_tO_2/W – intensity of oxygen consumption, $ml/min \times kg$	q_tO_2/W	This indicator determines the functional potential, or the level of aerobic energy supply capacity ($VO_2 \max/kg$: generalised model range 50.0-55.0 $ml/min \times kg$ – women; 60.0-65.0 $ml/min \times kg$ – men).
$q\bar{v}O_2/W$ – intensity of oxygen transport by mixed venous blood, $ml/min \times kg$	$q\bar{v}O_2/W$	The smallest quantitative characteristic of the transport of oxygen residues by mixed venous blood per kg of body weight.
Cascades of gradual changes in oxygen tension in the body		
P_iO_2 – is the partial pressure of oxygen in the inhaled air, $mm\ Hg$	$P_iO_2 = B - b / 100 \times F_iO_2$	Variations in this indicator depend on barometric pressure, temperature, humidity, and the composition of the gas mixture in the inhaled air.
P_AO_2 – partial pressure of oxygen in the alveolar air, $mm\ Hg$	$P_AO_2 = B - b / 100 \times F_AO_2$	Describes the ability of the lung apparatus to provide the oxygen tension required to form the necessary gradient for diffusion from the alveoli to the blood of the pulmonary capillaries.
PaO_2 – partial pressure of oxygen in arterial blood, $mm\ Hg$	They are determined either polarographically or according to the H_bO_2 dissociation curve (see fig. 1) [9], corrected for body temperature, pH, and P_aCO_2 by percentage of blood oxygen saturation.	The $P_AO_2 - PaO_2$ gradient is essential for the saturation of arterial blood with oxygen. The S_vO_2 , P_vO_2 , $P_{\bar{v}}O_2$ and $C_{\bar{v}}O_2$ indicators determine the degree of exercise hypoxia.
$P_{\bar{v}}O_2$ – partial, oxygen pressure in mixed venous blood, $mm\ Hg$		
Cost-effectiveness of CPS in relation to oxygen consumption		
VEO_2 – ventilation equivalent for oxygen	$VEO_2 = \dot{V}_{E\ BTPS} / q_tO_{2\ STPD}$	Allows you to estimate the amount of air that needs to be ventilated through the lungs equivalent to the consumption of 1 litre of oxygen.
O_2RC – oxygen effect of the respiratory cycle, ml	$O_2RC = q_tO_2 / f$	Indicates how much oxygen is consumed by the body during each respiratory cycle.
HE – hemodynamic equivalent	$HE = Q / q_tO_2$	It allows you to estimate how much blood circulating through the vessels is needed to ensure the consumption of 1 litre of oxygen.
O_2CC – oxygen effect of the cardiac cycle, ml	$O_2CC = q_tO_2 / HR$	Indicates how much oxygen is consumed by the body for each heartbeat.
q_tO_2/W_{ex} – oxygen cost of mechanical work	q_tO_2/W_{ex}	Allows you to assess the specific energy capabilities of the body during physical work of varying power.
Efficiency of oxygen mass transfer modes		
The ratio of the rate of oxygen supply to the lungs to the rate of oxygen consumption	q_iO_2 / q_tO_2	It quantifies how many times more oxygen enters the lungs than is consumed by the body.
The ratio of the rate of volumetric movement of oxygen into the alveoli of oxygen supply to the rate of oxygen consumption.	q_AO_2 / q_tO_2	It characterises the efficiency of the process of oxygen supply to the alveoli relative to the rate of oxygen consumption.
The ratio of the rate of oxygen transport by arterial blood to the rate of its consumption	q_aO_2 / q_tO_2	Characterises the ability to provide such an amount of oxygen to the working tissues that can meet the oxygen demand at rest and during standard work, but if the work capacity is too high, this indicator indicates the degree of decrease in the efficiency of oxygen supply.
The ratio of the rate of oxygen supply by mixed venous blood to the rate of its consumption	$q\bar{v}O_2 / q_tO_2$	At rest, the indicator can indicate how many times the blood oxygen reserves remain in the absence of its replenishment. During physical activity, the value depends on the intensity.

For example, we compare the changes in OMTR of athletes of the same qualification M. and D., whose MOC was the same (fig. 2), although the functions of respiration, blood circulation and mechanisms that provide it were different [8].

MOC (4100 ml/min) in sportsman D. was provided by a lower rate of oxygen supply to the lungs, alveoli, and its transport by arterial blood than in sportsman M. Comparison of cascades of intensity of oxygen promotion and intensity of its consumption shows that in sportsman D. the whole level was higher, which is explained by his lower mass. Since both athletes performed the same

work, and D. weight was 15 kg less, his maximum specific power was higher.

Due to the high degree of $KU_T O_2$ (fig. 2), the total oxygen reserve in mixed venous blood in athlete D. was lower, which indicated an increased efficiency of the oxygen transport blood function (OTBF). The function of external respiration in D. was also more efficient, as evidenced by a higher $KU_T O_2$ and a lower VE (fig. 2). Higher $P_A O_2$ and low $P_v O_2$ in athlete D. indicated a more strenuous OMTR.

A better level of D. functional state was revealed when comparing the effectiveness of OMTR (fig. 2). For the consumption of each litre of oxygen in this athlete,

the amount of oxygen that entered the lungs, alveoli, and was transported by arterial blood was less, and a smaller part of it was carried by blood to the lungs. More favourable changes in OTBF in athlete D. were observed not only during MOC, but also during the whole duration of work (fig. 3). He had a lower q_tO_2 at the first and second stages of work, which indicated a reduced oxygen cost of work and a higher efficiency.

The above example shows that a comprehensive approach allows us to identify qualitative differences in the OTBF and OMTR, the comparison of which provides detailed information not only about aerobic performance, but also about what ensures it and what limits it.

The advantages of this approach are that it allows to identify, in addition to the functional capabilities of the body, weak links in the system of oxygen supply to the body. For example, a higher $\dot{Q}$ in cyclist D. with almost the same maximum HR was provided by a higher systolic volume than in cyclist M. However, as shown by comparing the parameters of blood respiratory function, $C_{max}O_2$ was lower in D. than in M., which, along with a lower degree of S_aO_2 , led to lower C_aO_2 . If the specified parameters of respiratory function of blood were the same in D. as in M., then at the same KU_1O_2 from arterial blood, the rate of q_tO_2 could increase in him additionally by 300-350 ml/min. This fact can serve as a basis for recommending physical procedures (for example, training in hypoxic conditions) or taking medications and an appropriate diet for athlete D.

Indicators of CPS and energy supply occupy a special place in the system of monitoring functional performance, determining the level of physiological stress of load in conditions of competitive activity [4].

Table 3 shows the characteristics that reflect highly specific reactive properties of CPS and energy supply in the conditions of implementation of components of functional support of special performance, namely, fast kinetics (tests of 10 and 30 seconds, performed with maximum ergometric power) [10], steady state (period of achievement and preservation of stable characteristics of CPS) [1], fatigue compensation (loading of “critical” power) [11]. Modulation of test tasks and selection of indicators are carried out according to the functional fitness structure in a certain sport [12].

Attractive, in our opinion, is the indicator of the diffusion capacity of the lungs for oxygen, which is informative for assessing the possibilities of quantitative movement of oxygen through the alveolar-capillary mem-

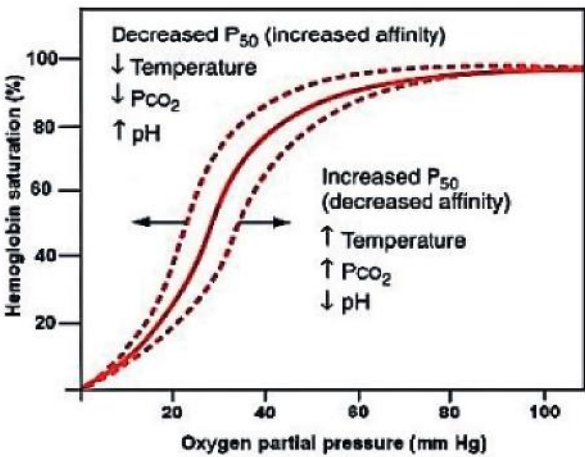


Figure 1 – Oxyhemoglobin dissociation curve. The shift to the right means that a higher PaO2 is required to achieve a similar level of hemoglobin saturation compared to the baseline. The Hb molecule has a lower affinity for oxygen and is more willing to release O2 at the tissue level. A shift to the left means that at lower PO2, the Hb saturation level will be higher than the baseline.

Table 2 – Formulas for calculating parameters that were not determined experimentally

No indicator available	Calculation options
$C_{max}O_2$	$C_{max}O_2 = Hb \times 1,34$ (Hüfner's constant)
C_aO_2	$C_aO_2 = C_{max}O_2 \times S_aO_2 / 100$ (S_aO_2 set non-invasively using an oxyhemometer)
$\bar{C}vO_2$	$\bar{C}vO_2 = q_vO_2 / \dot{Q} \times 100$
$C_{(a-v)}O_2$	$C_{(a-v)}O_2 = q_tO_2 / \dot{Q}$
S_vO_2	$S_vO_2 = \bar{C}vO_2 / C_{max}O_2 \times 100$
$\dot{Q}$	$\dot{Q} = Q \times HR$; $\dot{Q} = qtO_2 / C_{(a-v)}O_2$
Q	$Q = 101 + (S_p - D_p) / 2 - 0,59 D_p - 0,61 A$ (Starr's formula) $Q = \dot{Q} / HR$

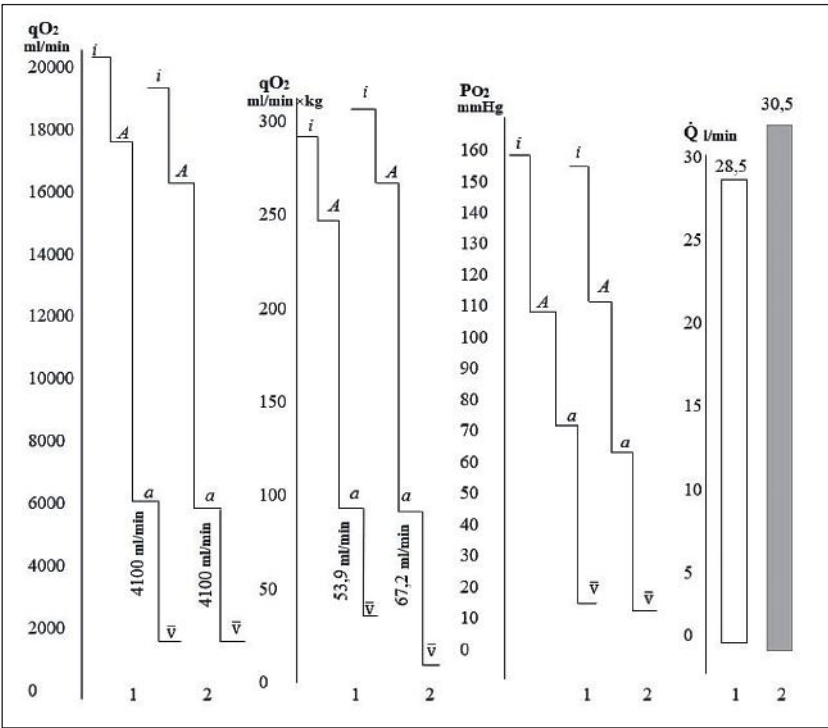


Figure 2 – Cascades of velocity (qO_2), oxygen supply to the lungs (i), alveoli (A), its transport by arterial (a) and mixed venous ($\bar{v}$) blood, respectively, RO_2 values, and minute blood volume ($\dot{Q}$) in cyclists M. (1) and D. (2) during MOC.

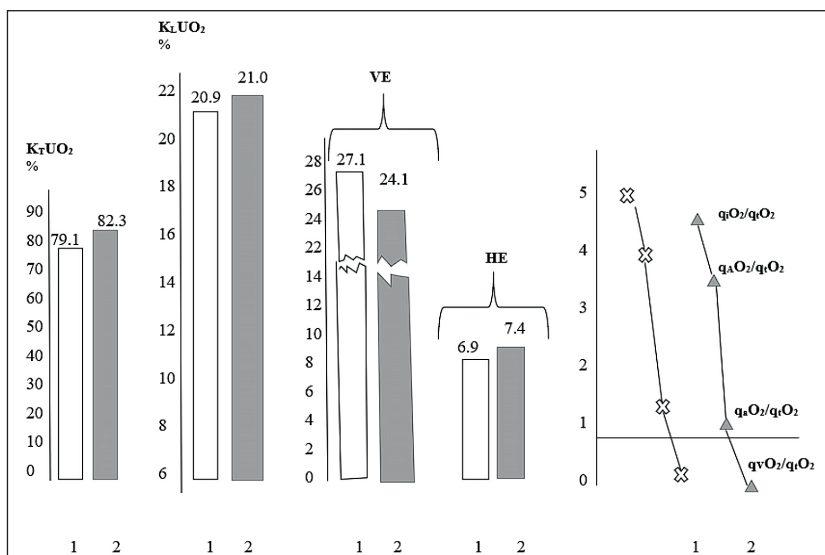


Figure 3 – $K_u O_2$ та $K_t O_2$, VE and HE, and OMTR effectiveness parameters in cyclists M. (1) and D. (2) at MOC.

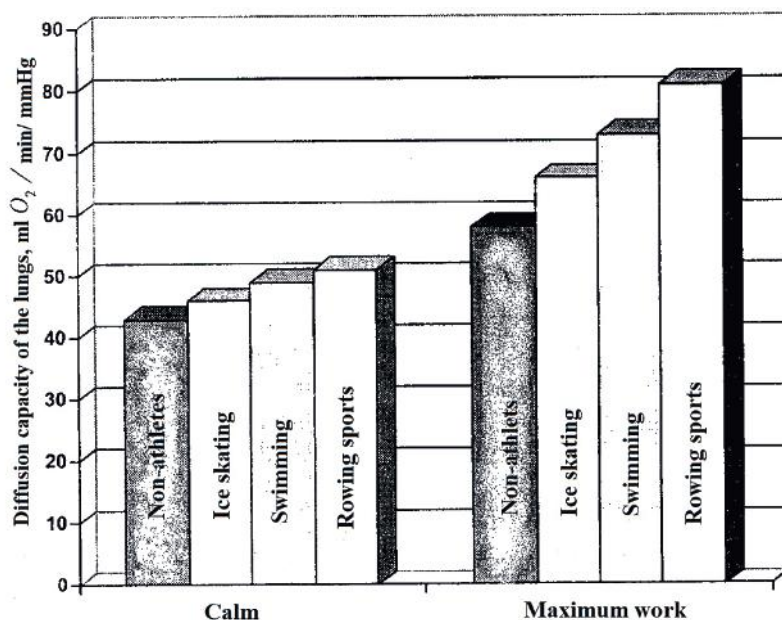


Figure 4 – Lung diffusion capacity for O_2 in non-athletes and athletes of different specialisations at rest and during maximal aerobic work

brane. In athletes, in contrast to untrained individuals, it is significantly higher (fig. 4).

As an example, let us consider the structure of functional support of the special working capacity of skilled rowers, "sprinters", and "stayers" (table 4) [4]. Thus, quantitative and qualitative characteristics that determine the level of fast kinetics dominate in "sprinters" – significant differences ($p < 0.05$) were registered by the characteristics of the ratio of pulmonary ventilation to $E_{qP} SO_2$ and blood lactate concentration in conditions of maximisation of glycolytic power (La test 30). A distinct tendency to differences was determined when comparing the characteristics of the response of pulmonary ventilation to an increase in CO_2 in exhaled air (E_{qVCO_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 resistance and compensation of fatigue dominate in «stallions». Significant differences

($p < 0.05$) were registered in the specific characteristics of pulmonary ventilation before CO_2 excretion and oxygen consumption (E_{qVCO_2} and E_{qVCO_2}), which were registered in the steady state. The most expressive factor in the growth of functional support for the «critical» power load in the «stayer» is a significant increase in the response of the external respiratory system aimed at compensating for metabolic acidosis and SSt / E_{qCP} and $\dot{V}O_{2maxCP} / \dot{V}O_{2maxSSt}$, respectively, the dynamics of maintaining a steady state, which gradually turns into a quasi-steady state [13]. The nature of changes in blood lactate concentration indicates that the stability of «lactate tolerance» ($La \dot{V}O_{2max}$) is one of the most informative characteristics of endurance. All of these features form the prerequisites for maintaining $\dot{V}O_{2max}$ under conditions of significant lactate acidosis, which is typical for strenuous training and competitive loads.

At the same time, the absence of differences in the values of anaerobic capacity ($La CP$) indicates the presence of anaerobic potential in both «sprinters» and «stayers», but in the course of the analysis, it was found that the mechanisms of its implementation are different. Thus, the aerobic-anaerobic ratio of «sprinters» is 58.3 / 41.7%, and that of «stallions» – 31.6 / 68.4%. The existing differences between «sprinters» and «stayers» are especially manifested in the analysis of individual characteristics of maximum values of physiological indicators according to the specialisation of sportsmen [13].

The effectiveness of functional support of special work capacity is influenced by natural inclinations of sportsmen and specificity of the choice of modes of training loads which together form a certain structure of reaction of CPS and energy supply, OMTR on mainly hypoxic, hypercapnic or acidemic shifts, depending on the structure of functional support of special work capacity.

That is, specific properties of CPS and energy supply are noted in representatives of various sports and athletes who specialize in various types of competitive activities within the same sport.

Conclusions.

Thus, the developed methodology, which takes a comprehensive approach to determining the functional capabilities of the athletes' bodies by analyzing the modes of mass transfer of respiratory gases and energy characteristics, shows the possibility of establishing qualitative and quantitative differences in the reaction of the cardiorespiratory system and energy supply of

Table 3 – Characteristics of energy indicators of monitoring of functional support of special performance of sportsmen [2]

Indicator	Indicator description	Characteristic of the indicator
$EqP_A CO_2, IU$	Specific characteristics of $\dot{V}_E$ до $P_A CO_2$ in alveolar air (final exhaled air fraction), $\dot{V}_E \times P_A CO_2^{-1}$	Demonstrates the effectiveness against the background of increasing CO_2 partial pressure in the alveolar air. Allows to characterise the kinetics of CPS during exercise.
$EqVCO_2^{-1} (test 30^*), IU$	Specific characteristics of $\dot{V}_E$ to an increase in CO_2 in exhaled air (10-15 s recovery period after 30 s of work), $\dot{V}_E \times \dot{V}CO_2^{-1}$	Characterises the kinetics of the respiratory system during a maximum 30-second test.
$EqVCO_2 SSt^{**}, IU$	Specific characteristics of pulmonary ventilation to the CO_2 concentration in exhaled air (for 30 s of steady state), $\dot{V}_{Ex} \times PaCO_2^{-1}$	Characterises the endurance of the respiratory system in conditions of increasing metabolic acidosis during the period of stable state
$EqVO_2 SSt, IU$	Specific characteristics of $\dot{V}_E$ before O_2 consumption for 30 s of steady state $\dot{V}_E \times \dot{V}O_2^{-1}$	Characterises respiratory compensation of metabolic acidosis
$EqVCO_2^{-1} SSt / EqVCO_2^{-1} CP^{***}, \%$ $EqVO_2 SSt / EqVO_2 CP, \%$	The degree of increase in functional stress in the conditions of fatigue development in the «Critical power» test $\dot{V}_E \times \dot{V}CO_2^{-1} SSt / \dot{V}_E \times \dot{V}CO_2^{-1} CP$ $\dot{V}_E \times \dot{V}O_2^{-1} SSt / \dot{V}_E \times \dot{V}O_2^{-1} CP$	Characterises the increase in the efficiency of functional support for the operation of «critical» capacity
$\dot{V}O_2 \max CP / O_2 \max SSt \cdot 100, \%$	The degree of change in oxygen consumption during the load of «critical» power and steady state	An increase in oxygen consumption with increasing exercise is an indicator of aerobic capacity
$La (test 30), mmol \cdot l^{-1}$	Blood lactate concentration under conditions of maximising glycolytic capacity	Characterises anaerobic glycolytic capacity
$La \dot{V}O_{2max}, mmol \cdot l^{-1}$	The blood lactate concentration at which the athlete has reached $\dot{V}O_{2max}$	Lactate «tolerance» is defined by the ability to achieve a high level of blood lactate concentration when working at $\dot{V}O_{2max}$. Endurance indicator
$La CP mmol \cdot l^{-1}$	Blood lactate concentration under conditions of maximising glycolytic capacity	Characterises anaerobic glycolytic capacity
$La (test 30) / La CP, \%$	Ratio of lactate energy supply capacity to total anaerobic reserve	The ratio of anaerobic power and anaerobic capacity: the tendency to «sprint» or «stayer» work

Notes: * test 30 – 30-second maximum test; ** SSt – steady state; ***CP – critical power.

Table 4 – Indicators of functional support of special performance of qualified racers (n=36)

Statistical indicators	$EqPaCO_2$ test 10	$EqCO_2$ test 30	La test 30	$EqVO_2 SSt$	$EqCO_2 SSt$	La $\dot{V}O_2 \max$	$EqO_2 SSt / EqO_2 CP, \%$	$EqCO_2 SSt / EqCO_2 CP, \%$	$\dot{V}O_2 \max CP / \dot{V}O_2 \max SSt, 100\%$	La CP	La CP / La test 30 *100, %
Rowers specializing 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 specializing 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 «old men» are statistically significant at $p < 0.05$.

work under the conditions of modulation of the physiological competitive load.

Prospects for further research.

Our findings pave the way for the enhancement of the system of collection, analysis, and interpretation of functional diagnostic data, and the further expansion of the methodology of a comprehensive approach to determining the capabilities of athletes' bodies. This includes a comprehensive analysis of respiratory func-

tion, cardio-hemodynamics, gas transport capabilities of blood, and energy indicators of work. Moreover, the potential for research on the above indicators under different conditions of training and competitive activity is vast. An in-depth study of the body's reactions to hypoxic, hypercapnic, and acidemic shifts holds the promise of unearthing new reserves of mobilization of the functional potential of athletes, a crucial aspect for achieving high sports results.

DOI 10.29254/2077-4214-2024-2-173-323-338

УДК 519.876

Філіппов М. М., Дяченко А. Ю., Дяченко О. А., Самсій Р. М., Кололафе Д. О., Ільїн В. М.

МЕТОДОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОГО ПІДХОДУ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ОРГАНІЗМУ СПОРТСМЕНІВ ШЛЯХОМ АНАЛІЗУ РЕЖИМІВ МАСОПЕРЕНОСУ РЕСПІРАТОРНИХ ГАЗІВ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

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

dnkolga@gmail.com

В статті представлені концептуальні уявлення стосовно методології проведення комплексних фізіологічних обстежень спортсменів в лабораторних умовах, які дозволяють отримати в стані спокою та при фізичних навантаженнях, крім параметрів зовнішнього дихання, кровообігу, споживання кисню організмом, також характеристики об'ємної швидкості надходження кисню до легень, альвеол, транспорту його артеріальною та змішаною венозною кров'ю, провести аналіз змін парціального тиску кисню на різних етапах його шляху в організмі, оцінювати при цьому економічність кардіореспіраторної системи (КРС), ефективність режимів масопереносу кисню (РМК), а також якості їх регулювання. Методологія комплексного підходу на першому етапі включає визначення цілого ряду вихідних показників, які далі за певною схемою використовуються в розрахунках параметрів РМК та показників їх ефективності, а також економічності КРС тощо. Показано структуру функціонального забезпечення спеціальної працездатності спортсменів, що мають різну спрямованість адаптаційних реакцій. Проводиться оцінка структури реакції КРС згідно специфіки особливостей РМК на переважно гіпоксичні, гіперкапічні чи ацидемічні зсуви. Представлені якісні та кількісні характеристики кінетики фізіологічних процесів в умовах високої інтенсивності фізичних навантажень. Комплексний підхід дозволяє виявити якісні відмінності в РМК, порівняння яких дають детальну інформацію не тільки про аеробну продуктивність, але і про те чим вона забезпечується та що її обмежує, а отже надає можливості для пошуку нових резервів мобілізації функціонального потенціалу спортсменів. Всі ці компоненти ґрунтуються на спеціалізованих реактивних властивостях організму.

Ключові слова: функціональні можливості, кардіореспіраторна система, режими масопереносу кисню, енергозабезпечення спеціальної працездатності.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Дана праця є 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.

У сучасних умовах спорту високих досягнень велика змагальна конкуренція вимагає пошуку нових резервів мобілізації функціонального потенціалу спортсменів, тому проблема оцінки функціональних можливостей організму спортсменів досі залишається актуальною. Успішне її вирішення можливе лише на суворо науковій основі.

Специфічні особливості мобілізації функціональних резервів (енергетичної потужності) мають велику залежність від реакції організму спортсменів на фізичні навантаження, формування певних фізіологічних станів, які при цьому виникають [1]. Як відомо

[2], реактивність кардіореспіраторної системи (КРС) і енергозабезпечення впливають на гомеостатичні зсуви, викликані певними фізіологічними станами, а саме гіпоксією, гіперкапіцією, рівнем концентрації в крові продуктів анаеробного метаболізму, в результаті чого змінюється ефективність функціонального забезпечення спеціальної працездатності.

Значні об'єми отриманої інформації, яка отримана в результаті лабораторних досліджень щодо визначення функціональних можливостей спортсменів різних видів спорту є різноманітною за змістом (основні характеристики цілісної дихальної системи організму, кардіогемодинаміки, газотранспортних можливостей крові, енергетичних показників тощо), роблять складною її всебічну обробку і якісний аналіз.

Мета дослідження.

На сьогоднішній день існує ряд методичних підходів, що представляють необхідність проведення розрахунків різноманітних фізіологічних показників після лабораторних досліджень, які формують уявлення про функціональний стан організму, але не

спрямовані на визначення тих характеристик, які необхідні для розуміння енергетичного потенціалу спортсмена. Завданням даного дослідження було сформулювати концептуальні уявлення про можливості розробки методології, яка базується на комплексних фізіологічних обстеженнях спортсменів в лабораторних умовах, і дозволяє отримувати повноцінну інформацію про стан організму як в спокої, при фізичних навантаженнях різної інтенсивності так і у відновлюваний період після них.

Об'єкт і методи дослідження.

Об'єктом дослідження є система науково-методичного забезпечення спортсменів високого класу. Розглянуті види контролю, способи оцінки і інтерпретації показників функціональної діагностики, спрямовані на визначення функціональних резервів відповідно цільовим настановам тренувальної і змагальної діяльності спортсменів.

Проведення таких досліджень потребує наявності необхідних діагностичних приладів для визначення стану кардіореспіраторної системи (КРС), наприклад за допомогою метаболіметра Охусон mobile (Jaeger), мікро-аналізаторної апаратури для біохімічного аналізу показників крові, наприклад лабораторний комплекс «Biosen S. line lab+») для виміру концентрації лактату, пристроїв для дозування фізичних навантажень, спеціальної методологічної бази для поточних розрахунків поетапного переміщення в організмі респіраторних газів, економічності КРС тощо.

При необхідності більш ретельного аналізу режимів масопереносу в організмі не тільки кисню, але і вуглекислого газу, їх взаємовідносин та органічного процесу взаємообміну, розроблений аналітичний вивчення кисневого режиму методичний підхід, який включає визначення умов утворення вуглекислого газу та розрахунків кількісних характеристик його масопереносу та виведення з організму як в стані спокою, так і при фізичних навантаженнях різної інтенсивності [3]. В даній роботі представлені методичні підходи лише стосовно аналізу режимів масопереносу кисню (РМК) і умов їх протікання.

Методологія комплексного підходу включає одночасне визначення в стані спокою, при фізичних навантаженнях та в процесі відновлення певних параметрів зовнішнього дихання, кровообігу, швидкості та інтенсивності надходження кисню до легень, альвеол, транспорту його артеріальною та змішаною венозною кров'ю, споживання організмом, парціального тиску кисню на різних етапах його просування в організмі, аналіз ефективності і економічності РМК, а також їх регулювання. При цьому проводиться оцінка структури реакції КРС згідно специфіки енергозабезпечення, особливостей РМК на переважно гіпоксичні, гіперкапічні чи ацидемічні зсуви [4].

В якості тестових навантажень пропонується використовувати такі: 1) для виявлення максимальної аеробної продуктивності – навантаження з максимальним споживанням кисню (МСК, $\dot{V}O_{2max}$); 2) для виявлення максимальної анаеробної здатності – короткочасне (30-90 с) навантаження субмаксимальної інтенсивності зі споживанням кисню 65-80% МСК; 3) для виявлення максимальної ефективності і економічності РМК – навантаження зі споживанням кисню 45-55% МСК. Також, в залежності від завдань дослі-

дження, можуть бути використані інші схеми навантажень, які моделюють умови змагальної діяльності.

При аналізі отриманої в процесі дослідження інформації особлива увага приділяється зміні фізіологічних процесів в перехідних режимах – від спокою до навантаження, від навантаження меншої інтенсивності до навантаження більшої інтенсивності, від навантаження до спокою [5].

Основна частина.

Методологія комплексного підходу включає визначення наступних вихідних показників:

- B – барометричний тиск, мм рт. ст.
- e – тиск водяних парів, мм рт. ст.
- t^0 – температура оточуючого повітря, °C
- t_1^0 – температура тіла, °C
- A – вік, роки
- W – маса тіла, кг
- H – зріст, см
- $\dot{V}_{I, ATPS}$ – хвилинний об'єм вдихуваного повітря (мл/хв), зареєстрований при температурі, барометричному тиску та напрузі водяних парів оточуючого повітря
- f – кількість дихальних циклів за 1 хвилину
- $\dot{Q}$ – хвилинний об'єм крові, мл/хв
- Q – систолічний об'єм крові, мл (Якщо експериментально визначити систолічний об'єм крові неможливо, використовується формула Старра [6].)
- HR – частота серцевих скорочень за 1 хвилину
- S_p – систолічний артеріальний тиск, мм рт. ст.
- D_p – діастолічний артеріальний тиск, мм рт. ст.
- F_{I, O_2} – вміст кисню у вдихуваному повітрі, об. %
- F_{E, O_2} – вміст кисню у видихуваному повітрі, об. %
- F_{A, O_2} – вміст кисню в альвеолярному повітрі, об. %
- C_{a, O_2} – вміст кисню в артеріальній крові, об. %
- $C_{\bar{v}, O_2}$ – вміст кисню в змішаній венозній крові, об. %
- F_{I, CO_2} – вміст вуглекислого газу у вдихуваному повітрі, об. %
- F_{E, CO_2} – вміст вуглекислого газу у видихуваному повітрі, об. %
- F_{A, CO_2} – вміст вуглекислого газу в альвеолярному повітрі, об. %
- C_{CO_2} – вміст вуглекислого газу в артеріальній крові, об. %
- $C_{\bar{v}, CO_2}$ – вміст вуглекислого газу в змішаній венозній крові, об. %
- C_{max, O_2} – киснева ємність крові, об. %
- Hb – гемоглобін, гр. %
- S_{a, O_2} – насиченість артеріальної крові киснем, об. %
- $S_{\bar{v}, O_2}$ – насиченість змішаної венозної крові киснем, об. %
- pH_a – pH артеріальної крові
- $pH_{\bar{v}}$ – pH змішаної венозної крові
- La – лактат або солі молочної кислоти в капілярній крові, ммоль·л⁻¹
- W_{ex} – ергометрична потужність роботи, Вт

Розрахунок параметрів РМК, показників їх ефективності та економічності здійснюється за наступними формулами, представленими в табл. 1. [7].

Якщо якісь з визначених експериментально параметрів відсутні, їх можна розрахувати, використовуючи формули, наведені в табл. 2.

Таблиця 1 – Формули для розрахунку параметрів РМК

Показники	Формули для розрахунку	Опис показника
Зовнішнє дихання		
F – STPD (Standard temperature (0°C або 273 K), pressure (760 мм рт.ст.), dry (сухе повітря))	$F = 273 / 760 \times (B - v) / 273 + t^0$	Фактор для приведення отриманих об'ємів повітря до стандартних умов
F_i – BTPS (Body temperature, pressure, saturated)	$F_i = 273 / 760 \times (B - v) / 273 + t_i^0$	Фактор для приведення отриманих об'ємів повітря до умов температури тіла
$\dot{V}_{I\text{STPD}}$ – хвилинний об'єм вдихуваного повітря, мл/хв	$\dot{V}_{I\text{STPD}} = \dot{V}_{I\text{ATPS}} \times F$	Використовується для розрахунків швидкості надходження кисню до легень та альвеолярної вентиляції.
$\dot{V}_{E\text{STPD}}$ – хвилинний об'єм видихуваного повітря, мл/хв	$\dot{V}_{E\text{STPD}} = \dot{V}_{E\text{ATPS}} \times F$	Використовується для оцінки функціональних можливостей легень та розрахунків швидкості надходження кисню до легень.
$\dot{V}_D$ – фізіологічний мертвий дихальний простір, мл/хв	$\dot{V}_D = \frac{F_{EO_2} - F_{AO_2}}{F_{AO_2} - F_{IO_2}} \times \dot{V}_I$	Сумує об'єм повітряного простору, який не приймає участь в безпосередньому обміні газів з капілярною кров'ю в альвеолах.
$\dot{V}_{D/I}$, %	$\dot{V}_{D/I} = \frac{(F_{EO_2} - F_{AO_2}) / (F_{IO_2} - F_{AO_2})}{\dot{V}_I} \times 100$	Характеризує відсоток об'єму легень, що не задіяний у процесі газообміну, до хвилинного об'єму вдихуваного повітря.
$\dot{V}_A$ – альвеолярна вентиляція	$\dot{V}_A = \dot{V}_I - \dot{V}_D$	Об'єм, що лишається, якщо відняти від легеневої вентиляції мертвий дихальний простір. Використовується для розрахунків швидкості надходження кисню до альвеол.
$V_{T\text{BTPS}}$ – дихальний об'єм	$V_{T\text{BTPS}} = V_{E\text{BTPS}} / f$	Об'єм повітря, який вентилюється через легені при кожному дихальному акті.
$D_{CL\ O_2}$ – дифузійна спроможність легень для кисню, мл O_2 /хв/мм рт.ст.	$D_{CL\ O_2} = q_{tO_2} / P_{AO_2} - P_{aO_2}$	Характеризує перенесення кисню через стінку альвеоли легень за одиницю часу відносно градієнту його тиску з обох боків мембрани альвеоли.
Розрахування режимів масопереносу кисню в організмі		
q_{IO_2} – швидкість надходження кисню до легень, мл/хв	$q_{IO_2} = \dot{V}_{I\text{STPD}} \times F_{IO_2}$	Це перший етап кисневого каскаду. В стані спокою до легень за 1хв надходить близько 1 л кисню. При роботі максимальної потужності це може бути до 40 разів більше.
q_{EO_2} – швидкість видалення кисню з легень, мл/хв	$q_{EO_2} = \dot{V}_{E\text{STPD}} \times F_{EO_2}$	Цей показник використовується для розрахунків q_{tO_2} .
q_{AO_2} – швидкість надходження кисню до альвеол, мл/хв	$q_{AO_2} = q_{IO_2} \times \dot{V}_A / \dot{V}_I$ $q_{AO_2} = \dot{V}_{A\text{STPD}} \times F_{IO_2}$	Ця кількісна характеристика надходження кисню до альвеол залежить від відношення $\dot{V}_A / \dot{V}_I$.
q_{aO_2} – швидкість транспорту кисню артеріальною кров'ю, мл/хв	$q_{aO_2} = \dot{Q}_x \times CaO_2$	Третій етап каскаду переміщення кисню в організмі, він характеризує кисневотранспортну функцію артеріальної крові і залежить від швидкості об'ємного кровотоку, та концентрації кисню в крові.
q_{vO_2} – швидкість транспорту кисню змішаною венозною кров'ю, мл/хв	$q_{vO_2} = \dot{Q}_x \times C\bar{v}O_2$ $q_{vO_2} = q_{aO_2} - q_{tO_2}$	Це останній етап кисневого каскаду в організмі – залишки кисню транспортуються до легень. Кількісна характеристика цих залишків мало змінюється, але їх відношення до споживання в стані спокою складає близько ¼ (0,75), тоді як при максимальних навантаженнях знижується до 0,2 і менше.
$q_{tO_2} (VO_2)$ – швидкість споживання кисню, мл/хв	$q_{tO_2} = q_{IO_2} - q_{EO_2}$ $q_{tO_2} = \dot{Q}_{(a-v)} \times \bar{v}O_2$	Це основний інтегральний показник інтенсивності протікання енергетичних процесів в організмі. Може змінюватись від 200-300 мл/хв в стані спокою і до 5-7 л/хв і більше при дуже інтенсивних фізичних навантаженнях.
KU_{LO_2} – коефіцієнт використання кисню з вдихуваного повітря, %	$KU_{LO_2} = (F_{IO_2} - F_{EO_2}) / F_{IO_2}$	Характеризує можливості вилучення кисню з повітря, яке надходить до легень. В спокої коефіцієнт складає ~ 25%, при навантаженнях він може змінюватись в залежності від індивідуальних особливостей, характеру обмінних процесів, стану тренуваності тощо.
KU_{tO_2} – коефіцієнт утилізації кисню тканинами з артеріальної крові, %	$KU_{tO_2} = C_{(a-v)} \bar{v}O_2 / C_aO_2$	За цим показником можна оцінити інтенсивність окислювальних процесів в працюючих тканинах, особливо при фізичних навантаженнях.
Інтенсивність переміщення кисню в організмі		
q_{IO_2} / W – інтенсивність надходження кисню до легень, мл/хв _x кг	q_{IO_2} / W	Дозволяє визначити питомі значення надходження кисню до легень. Однакові загальні величини q_{IO_2} при різній масі тіла можуть бути різними при розрахунках на кг, а це дає змогу додаткового аналізу функції апарату зовнішнього дихання.
Q_{AO_2} / W – інтенсивність надходження кисню до альвеол, мл/хв _x кг	q_{AO_2} / W	Свідчить про потенційні можливості апарату зовнішнього дихання щодо питомого надходження кисню до альвеол.

$q_a O_2 / W$ – інтенсивність транспортування кисню артеріальною кров'ю, $мл/хв_x кг$	$q_a O_2 / W$	Визначається ємність серцево-судинної системи щодо можливостей забезпечувати об'ємну швидкість транспорту кисню з розрахунку на кг маси тіла.
$q_t O_2 / W$ – інтенсивність споживання кисню, $мл/хв_x кг$	$q_t O_2 / W$	За цим показником визначають функціональний потенціал, або рівень потужності аеробного енергозабезпечення ($VO_2 \max / кг$: узагальнений модельний діапазон 50,0-55,0 $мл/хв$ х кг – жінки; 60,0-65,0 $мл/хв$ х кг – чоловіки).
$q\bar{v}O_2 / W$ – інтенсивність транспортування кисню змішаною венозною кров'ю, $мл/хв_x кг$	$q\bar{v}O_2 / W$	Найменша кількісна характеристика транспортування залишків кисню змішаною венозною кров'ю з розрахунку на кг маси тіла.
Каскади поетапної зміни напруги кисню в організмі		
$P_I O_2$ – парціальний тиск кисню у вдихуваному повітрі, $мм рт. ст.$	$P_I O_2 = B - b / 100 \times F_I O_2$	Варіації значення цього показника залежать від барометричного тиску, температури, вологості, а також складу газової суміші в повітрі, що вдихується.
$P_A O_2$ – парціальний тиск кисню в альвеолярному повітрі, $мм рт. ст.$	$P_A O_2 = B - b / 100 \times F_A O_2$	Характеризує можливості апарату легень забезпечувати таку напругу кисню, яка необхідна для формування необхідного градієнту для дифузії з альвеол до крові легеневих капілярів.
$P_a O_2$ – парціальний тиск кисню в артеріальній крові, $мм рт.ст.$	Визначаються або полярографічно, або згідно кривої дисоціації НвО ₂ (див. рис. 1) [9], з поправками на температуру тіла, рН та P _a CO ₂ за відсотком насичення крові киснем.	Для насичення артеріальної крові киснем суттєво значить градієнт $P_A O_2 - P_a O_2$. За показниками $S_{\bar{v}} O_2$, $P_{\bar{v}} O_2$ та $C_{\bar{v}} O_2$ визначають ступінь гіпоксії навантаження.
$P_{\bar{v}} O_2$ – парціальний, тиск кисню в змішаній венозній крові, $мм рт.ст$		
Економічність КРС по відношенню до забезпечення споживання кисню		
VEO_2 – вентиляційний еквівалент за киснем	$VE O_2 = \dot{V}_{E \text{ BTPS}} / q_t O_2 \text{ STPD}$	Дозволяє оцінити необхідну кількість повітря, яке треба провентилювати через легені еквівалентно споживанню 1 л кисню.
$O_2 RC$ – кисневий ефект дихального циклу, $мл$	$O_2 RC = q_t O_2 / f$	Свідчить про те, скільки кисню споживається організмом за кожний дихальний цикл.
HE – гемодинамічний еквівалент	$HE = Q_v q_t O_2$	Дозволяє оцінити яка кількість циркулюючої по судинам крові необхідна для забезпечення споживання 1 л кисню.
$O_2 CC$ – кисневий ефект серцевого циклу, $мл$	$O_2 CC = q_t O_2 / HR$	Свідчить про те, скільки організмом споживається кисню за кожне серцеве скорочення.
$q_t O_2 / W_{ex}$ – киснева вартість механічної роботи	$q_t O_2 / W_{ex}$	Дозволяє оцінити питомі енергетичні можливості організму при фізичній роботі різної потужності.
Ефективність режимів масопереносу кисню		
Відношення швидкості надходження кисню в легені до швидкості його споживання	$q_l O_2 / q_t O_2$	Кількісно характеризує в скільки разів до легень більше надходить кисню, ніж його споживається організмом.
Відношення швидкості об'ємного переміщення кисню в альвеоли надходження кисню до швидкості його споживання.	$q_A O_2 / q_t O_2$	Характеризує ефективність процесу надходження кисню в альвеоли відносно швидкості його споживання.
Відношення швидкості транспорту кисню артеріальною кров'ю до швидкості його споживання	$q_a O_2 / q_t O_2$	Характеризує можливості забезпечувати таку кількість надходження кисню до працюючих тканин, яка може задовольнити кисневий запит у стані спокою та при виконанні стандартної роботи, але якщо потужність роботи надто висока, цей показник свідчить про ступінь зниження ефективності постачання кисню.
Відношення швидкості надходження кисню змішаною венозною кров'ю до швидкості його споживання	$q\bar{v}O_2 / q_t O_2$	В стані спокою показник може свідчити про те, наскільки кратними залишаються запаси кисню крові при відсутності його поповнення. При фізичних навантаженнях значення залежить від інтенсивності.

Комплексний підхід до аналізу РМК дозволяє виявити ланки, що обмежують постачання організму киснем та пов'язану з ним працездатність.

В якості прикладу наводимо порівняння змін РМК спортсменів однакової кваліфікації М. та Д., у яких МСК було однаковим (**рис. 2**), хоча функції дихання, кровообігу та механізми, що його забезпечують, були різними [8].

МСК (4100 $мл/хв$) у спортсмена Д. забезпечувалось меншою, ніж у спортсмена М., швидкістю над-

ходження кисню до легень, альвеол, транспортування його артеріальною кров'ю. Порівняння каскадів інтенсивності просування кисню та інтенсивності його споживання показують, що у спортсмена Д. весь рівень був більш високим, що пояснюється меншою його масою. Так як обидва спортсмени виконували однакову роботу, а маса була на 15 $кг$ меншою у Д., то максимальна питома потужність була у нього вищою.

Завдяки високому ступеню $KU_1 O_2$ (**рис. 2**), загальний резерв кисню в змішаній венозній крові у

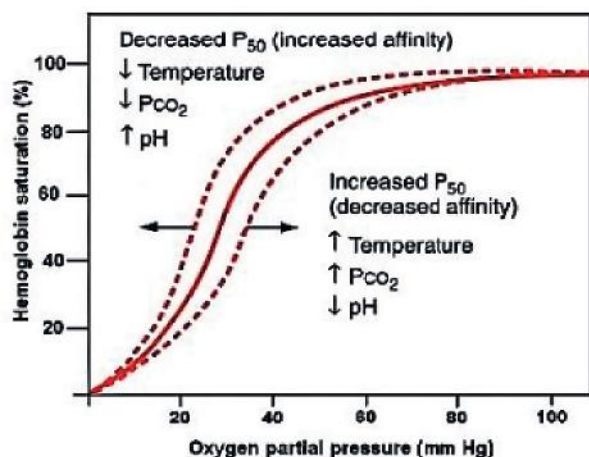


Рисунок 1 – Крива дисоціації оксигемоглобіну. Зсув праворуч означає, що для досягнення подібного рівня насичення гемоглобіну потрібен вищий P_{O_2} порівняно з базовим рівнем. Молекула Hb має меншу спорідненість до кисню і більш готова віддавати O_2 на рівні тканин. Зсув ліво означає, що при меншому PO_2 рівень насичення Hb буде вище базового рівня.

Таблиця 2 – Формули розрахунку параметрів, що не були визначені експериментально

Відсутній показник	Варіанти розрахунків
$C_{max} O_2$	$C_{max} O_2 = Hb \times 1,34$ (Константа Гюфнера)
$C_a O_2$	$C_a O_2 = C_{max} O_2 \times S_a O_2 / 100$ (За O_2 встановлюють неінвазивним шляхом за допомогою оксигеметра)
$C\bar{v} O_2$	$C\bar{v} O_2 = q_v O_2 / \dot{Q} \times 100$
$C_{(a-v)} O_2$	$C_{(a-v)} O_2 = q_t O_2 / \dot{Q}$
$S_v O_2$	$S_v O_2 = C_v O_2 / C_{max} O_2 \times 100$
$\dot{Q}$	$\dot{Q} = Q \times HR$; $\dot{Q} = qt O_2 / C_{(a-v)} O_2$
Q	$Q = 101 + (S_p - D_p) / 2 - 0,59 D_p - 0,61 A$ (формула Старра) $Q = \dot{Q} / HR$

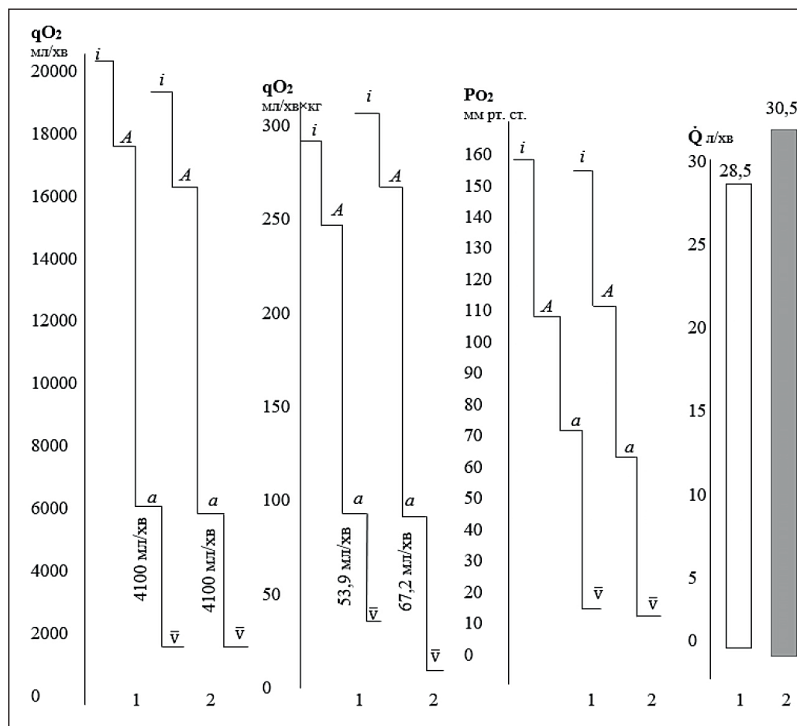


Рисунок 2 – Каскади швидкості (qO_2), надходження кисню до легень (i), альвеол (A), транспортування його артеріальною (a) та змішаною венозною ($\bar{v}$) кров'ю, відповідно значення PO_2 , а також хвилинний об'єм крові ($\dot{Q}$) у велосипедистів М. (1) та Д. (2) при МСК.

спортсмена Д. виявився більш низьким, що свідчило про підвищену ефективність кисневотранспортної функції крові (КТФК). Функція зовнішнього дихання у Д. також була більш ефективною, про що свідчили більш високий $KU_L O_2$ та низький VE (рис. 2). Більш високий $P_A O_2$ та низький $P_v O_2$ у спортсмена Д. свідчили про більш напружений РМК.

Кращий рівень функціонального стану Д. був виявлений при порівнянні ефективності РМК (рис. 2). Для споживання кожного літру кисню у цього спортсмена меншою була кількість кисню, що потрапляла до легень, альвеол, транспортувалося артеріальною кров'ю, менша його частина уносилася кров'ю до легень. Більш сприятливі зміни в КТФК у спортсмена Д. спостерігались не тільки при МСК, але і протягом всієї тривалості роботи (рис. 3). Менше $q_t O_2$ було у нього на першій та другій ступенях роботи, що вказувало на знижену кисневу вартість роботи та більш високий коефіцієнт корисної дії.

Наведений приклад показує, що комплексний підхід дозволяє виявити якісні відмінності в КТФК та РМК, порівняння яких дають детальну інформацію не тільки про аеробну продуктивність, але і про те чим вона забезпечується та що її обмежує.

Переваги такого підходу полягають в тому, що він дозволяє виявити окрім функціональних можливостей організму, слабкі ланки в системі постачання організму киснем. Так, наприклад більш високий $\dot{Q}$ у велосипедиста Д. при майже однаковій максимальній HR, забезпечувався більшим, ніж у велосипедиста М., систолічним об'ємом. Однак, як показали порівняння параметрів дихальної функції крові, $C_{max} O_2$ виявилася у Д. нижчою, ніж у М., що поряд з меншим ступенем $S_a O_2$, зумовлювало менше $C_a O_2$. Якщо у спортсмена Д. вказані параметри дихальної функції крові були такими ж, як у М., то при незмінному $KU_L O_2$ із артеріальної крові, швидкість $q_t O_2$ могла б збільшитися у нього додатково на 300-350 мл/хв. Відмічений факт може слугувати підставою для того, щоб рекомендувати спортсмену Д. фізичні процедури (наприклад: тренування в гіпоксичних умовах) або прийом лікарських препаратів та відповідної дієти.

Особливе місце в системі моніторингу функціонального забезпечення спеціальної працездатності спортсменів займають показники КРС і енергозабезпечення, які визначають рівень фізіологічного напруження навантаження в умовах змагальної діяльності [4].

В таблиці 3 наведені характеристики, які відображають високоспецифічні реактивні властивості КРС і енергозабезпечення в умовах реалізації компонентів функціонального забезпечення спеціальної працездатності.

датності, а саме – швидкої кінетики (тести 10 і 30 секунд, виконані з максимальною ергометричною потужністю) [10], стійкого стану (період досягнення і збереження сталих характеристик КРС) [1], компенсації втоми (навантаження «критичної» потужності) [11]. Модуляція тестових завдань і вибір показників здійснюються відповідно структурі функціональної підготовленості в певному виді спорту [12].

Привабливим, на наш погляд, є показник дифузійної спроможності легень для кисню, який є інформативним для оцінки можливостей кількісного переміщення кисню через альвеоларно-капілярну мембрану. У спортсменів, на відміну від нетрениваних осіб, він значно вищий (рис. 4).

В якості прикладу розглянемо структуру функціонального забезпечення спеціальної працездатності кваліфікованих веслувальників «спринтерів» та «стаєрів» (табл. 4) [4]. Так, у «спринтерів» домінують кількісні та якісні характеристики, що визначають рівень швидкої кінетики – значущі відмінності ($p < 0,05$) зареєстровані за характеристиками відношення легеневої вентиляції до EqP_ACO_2 і концентрації лактату крові в умовах максимізації гліколітичної потужності (La test 30). Виразну тенденцію до відмінностей визначено при порівнянні характеристик реакції легеневої вентиляції до збільшення CO_2 у видихуваному повітрі (EqVCO_2 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 виведення з організму CO_2 і споживання кисню (EqVCO_2 і EqVO_2), які були зареєстровані в умовах стійкого стану. Найбільш виразним чинником зростання функціонального забезпечення навантаження «критичної» потужності у «стаєрів» є суттєве зростання реакції системи зовнішнього дихання, спрямованої на компенсацію метаболічного ацидозу і $\text{SSt} / \text{Eq CP}$ і $\dot{\text{V}}\text{O}_2 \text{ max CP} / \dot{\text{V}}\text{O}_2 \text{ max SSt}$ відповідно динаміки утримання стійкого стану, який поступово переходить в квазістійкий [13]. Характер змін концентрації лактату крові свідчить, що сталість «переносимості лактату» ($\text{La } \dot{\text{V}}\text{O}_2 \text{ max}$) і є одним із найбільш інформативних характеристик витривалості. Всі зазначені особливості формують передумови утримання $\dot{\text{V}}\text{O}_2 \text{ max}$ в умовах знач-

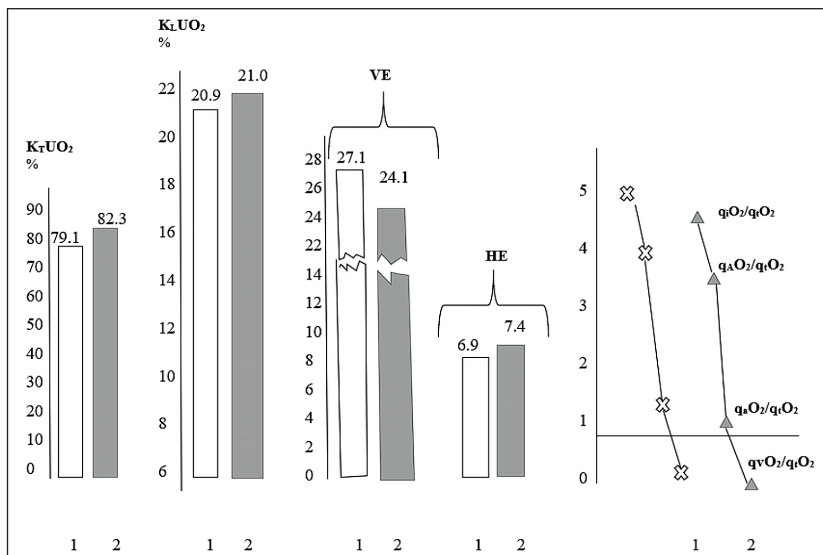


Рисунок 3 – $K_t\text{UO}_2$ та $K_t\text{UO}_2$, VE та HE, а також параметри ефективності РМК у велосипедистів М. (1) та Д. (2) при МСК.

ного лактат-ацидозу, характерного для напружених тренувальних і змагальних навантажень.

Разом з тим, відсутність відмінностей величин анаеробної ємності (La CP) свідчить про наявність анаеробного потенціалу як у «спринтерів», так і у «стаєрів», але в процесі аналізу було виявлено, що механізми його реалізації різні. Так, аеробно-анаеробне співвідношення у «спринтерів» знаходиться на рівні 58,3 / 41,7%, а у «стаєрів» – 31,6 / 68,4%. Наявні відмінності «спринтерів» і «стаєрів» особливо проявляються при аналізі індивідуальних характеристик максимальних значень фізіологічних показників відповідно спеціалізації спортсменів [13].

На ефективність функціонального забезпечення спеціальної працездатності впливають природні задатки спортсменів і специфічність вибору режимів

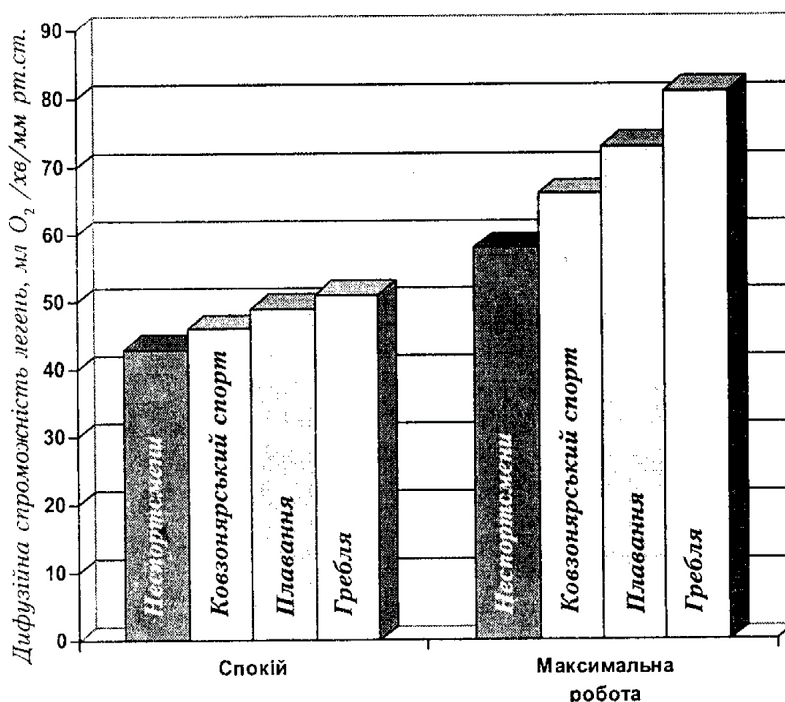


Рисунок 4 – Дифузійна спроможність легень щодо O_2 у осіб, що не займаються спортом та спортсменів різної кваліфікації в стані спокою та при виконанні максимальної аеробної роботи.

Таблиця 3 – Характеристика енергетичних показників моніторингу функціонального забезпечення спеціальної працездатності спортсменів [2]

Показник	Опис показника	Характеристика показника
$E_{qP_{A}CO_2}$, у. о.	Питомі характеристики $\dot{V}_E$ до $P_{A}CO_2$ в альвеолярному повітрі (кінцева фракція повітря, що видихається), $\dot{V}_E \times P_{A}CO_2^{-1}$	Демонструє ефективність на фоні зростання парціального тиску CO_2 в альвеолярному повітрі. Дозволяє охарактеризувати кінетику КРС під час навантаження.
$E_{qVCO_2^{-1}}$ (test 30*), у. о.	Питомі характеристики $\dot{V}_E$ до збільшення CO_2 у повітрі, що видихається (10-15 с відновлювального періоду після роботи 30 с), $\dot{V}_E \times \dot{V}CO_2^{-1}$	Характеризує кінетику системи дихання під час максимального 30-секундного тесту.
$E_{qVCO_2 SSt^{**}}$, у. о.	Питомі характеристики легеневої вентиляції до концентрації CO_2 у повітрі, що видихається (за 30 с стійкого стану), $\dot{V}_{Ex} \times PaCO_2^{-1}$	Характеризує витривалість системи дихання в умовах наростання метаболічного ацидозу в період стабільного стану
$E_{qVO_2 SSt}$, у. о.	Питомі характеристики $\dot{V}_E$ до споживання O_2 за 30 с стійкого стану, $\dot{V}_E \times \dot{V}O_2^{-1}$	Характеризує дихальну компенсацію метаболічного ацидозу
$E_{qVCO_2^{-1} SSt} / E_{qVCO_2^{-1} CP^{***}}$, % $E_{qVO_2 SSt} / E_{qVO_2 CP}$, %	Ступінь збільшення функціонального напруження в умовах розвитку втоми в тесті «Критична потужність» $\dot{V}_E \times \dot{V}CO_2^{-1} SSt / \dot{V}_E \times \dot{V}CO_2^{-1} CP$ $\dot{V}_E \times \dot{V}O_2^{-1} VO_{2max} SSt / \dot{V}_E \times \dot{V}O_2^{-1} CP$	Характеризує зростання ефективності функціонального забезпечення роботи «критичної» потужності
$VO_{2max} CP / O_{2max} SSt \cdot 100$, %	Ступінь зміни вживання кисню протягом навантаження «критичної» потужності та стійкого стану	Збільшення споживання кисню в умовах зростання навантаження є показником аеробної потужності
La (test 30), ммоль·л ⁻¹	Показник концентрації лактату крові в умовах максимізації гліколітичної потужності	Характеризує анаеробну гліколітичну потужність
$La \dot{V}O_{2max}$, ммоль·л ⁻¹	Показник концентрації лактату крові, при якому спортсмен досяг VO_{2max}	«Терпимість» до лактату, визначається спроможністю досягати високого рівня концентрації лактату крові при роботі на рівні $\dot{V}O_{2max}$. Показник витривалості
$La CP$, ммоль·л ⁻¹	Показник концентрації лактату крові в умовах максимізації гліколітичної ємності	Характеризує анаеробну гліколітичну ємність
La (test 30) / $La CP$, %	Відношення ємності лактатного енергозабезпечення від загального анаеробного резерву	Співвідношення анаеробної потужності і анаеробної ємності: схильність до «спринтерської» або «стаєрської» роботи

Примітки: * test 30 – 30ти секундний максимальний тест; ** SSt – steady state (стабільний стан); ***CP – critical power (критична потужність).

Таблиця 4 – Показники функціонального забезпечення спеціальної працездатності кваліфікованих веслувальників (n=36)

Статистичні показники	E_{qPaCO_2} test 10	E_{qCO_2} test 30	La test 30	$E_{qVO_2} SSt$	$E_{qCO_2} SSt$	$La VO_{2max}$	$E_{qO_2} SSt / E_{qO_2} CP$, %	$E_{qCO_2} SSt / E_{qCO_2} CP$, %	$VO_{2max} CP / VO_{2max} SSt$, 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 $p < 0,05$.

тренувальних навантажень, які разом формують певну структуру реакції КРС і енергозабезпечення, РМК на переважно гіпоксичні, гіперкапічні або ацидемічні зсуви, в залежності від структури функціонального забезпечення спеціальної працездатності.

Тобто, певні властивості КРС і енергозабезпечення відзначаються не тільки у представників різних видів спорту, але й у спортсменів які спеціалізуються в різних видах змагальної діяльності в межах одного виду спорту.

Висновки.

Таким чином, розроблена методологія комплексного підходу до визначення функціональних можливостей організму спортсменів шляхом аналізу режимів масопереносу респіраторних газів та енергетичних характеристик свідчить про можливості встановлювати якісні і кількісні відмінності реакції кардіореспіраторної системи і енергозабезпечення

роботи в умовах модуляції фізіологічного змагального навантаження.

Перспективи подальших досліджень.

Передбачають вдосконалення системи збору, аналізу та інтерпретації даних функціональної діагностики, подальше розширення методології комплексного підходу до визначення можливостей організму спортсменів, а саме всебічного аналізу дихальної функції, кардіогемодинаміки, газотранспортних можливостей крові та енергетичних показників роботи. Також є важливим розширити дослідження щодо вище наведених показників при різних умовах тренувальної та змагальної діяльності. Поглиблене вивчення реакцій організму на гіпоксичні, гіперкапічні та ацидемічні зсуви сприятиме виявленню нових резервів мобілізації функціонального потенціалу спортсменів, що є критичним для досягнення високих спортивних результатів.

References / Література

1. Diachenko A, Leibo W, Lisenchuk G, Denysova L, Lysenchuk S. Football Players' "Cardiorespiratory System and Intermittent Endurance" Test. Sport Mont. 2021;19(2):23-27.
2. Myshchenko VS, Lysenko EN, Vynohradov VE. Reaktyvnie svoystva kardiorespyratornoi systemy kak otrazhenye adaptatsyy k napriazhennoi fizycheskoi trenirovke v sporte. Kyiv: Naukovyi svit; 2007. 352 s.
3. 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.
4. Diachenko OA, Komolafe DO, Filippov MM, Ilin VM, Ho Zhenkha. Kharakterystyky funktsionalnogo zabezpechennia spetsialnoi pratsездatnosti vesluvalnykiv. Visnyk problem biolohii i medytsyny. 2023;171(4):150-158. DOI: [10.29254/2077-4214-2023-4-171-99-107](https://doi.org/10.29254/2077-4214-2023-4-171-99-107). [in Ukrainian].
5. Fylyppov MM, Tsyulnykov VA, Varnachova TM. Fyziolohiia liudyny. Kyiv: Vydavnychiy dim «Personal»; 2013. 386 s. [in Ukrainian].
6. Fylyppov MM, Davydenko DN. Fyziolohycheskye mekhanizmy razvytiya y kompensatsyy sostoiannya hypoksyy v protsesse adaptatsyy k myshechnoi deiatelnosti. SPb. – Kyev: BPA; 2010. 260 s.
7. Kolchynska A. Mechanisms of action of traditional and non-traditional means for improving aerobic performance of athletes. Science in Olympic Sport. 2019;3:145-150.
8. Komolafe DO. Osoblyvosti proiavu hipoksii navantazhennia u pidlitkiv v zalezhnosti vid rukhovoї diialnosti [dysertatsiia]. Kyiv: NUFVS Ukrainy; 2024. 193 s. [in Ukrainian].
9. Starr I. Clinical Tests of the Simple Method of Estimating Cardiac Stroke Volume from Blood Pressure and Age. Circulation. 1954;9(5):664-681. DOI: [10.1161/01.cir.9.5.664](https://doi.org/10.1161/01.cir.9.5.664).
10. Diachenko A, Pengcheng G, Yevpak N, Rusanova O, Kipyrych S, Furjan-Mandic G. Neurohumoral Components of Rapid Reaction Kinetics of the Cardio-Respiratory System of Kayakers. Sport Mont. 2021;19(2):29-33.
11. Pool DC, Burnley M, Vanhatalo A, Rossiter HB, Jones AM. Critical power: an important fatigue threshold in exercise physiology. Med Sci Sports Exerc. 2016;48(11):2320-2334.
12. 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 J Health Phys Act. 2014;6(3):218-228.
13. Hawkins MN, Raven PB, Snell PG, Stray-Gundersen J, Levine BD. Maximal Oxygen Uptake as a Parametric Measure of Cardiorespiratory Capacity. Med Sci Sports Exerc. 2007;39(1):103-107. DOI: [10.1249/01.mss.0000241641.75101.64](https://doi.org/10.1249/01.mss.0000241641.75101.64).

МЕТОДОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОГО ПІДХОДУ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ОРГАНІЗМУ СПОРТСМЕНІВ ШЛЯХОМ АНАЛІЗУ РЕЖИМІВ МАСОПЕРЕНОСУ РЕСПІРАТОРНИХ ГАЗІВ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Філіппов М. М., Дяченко А. Ю., Дяченко О. А., Самсій Р. М., Комолафе Д. О., Ільїн В. М.

Резюме. У сучасних умовах спорту високих досягнень велика змагальна конкуренція вимагає пошуку нових резервів мобілізації функціонального потенціалу спортсменів, а значні об'єми інформації, що отримана за результатами функціональної діагностики атлетів багатьох видів спорту є різноманітною за змістом (основні характеристики дихальної системи організму, кардіогемодинаміки, газотранспортних можливостей крові, енергетичних показників тощо), роблять складною її всебічну обробку і якісний аналіз. Саме тому потребує вдосконалення система збору, аналізу, інтерпретації даних лабораторних досліджень.

У статті розглядаються концептуальні підходи до методології проведення комплексних фізіологічних обстежень спортсменів у лабораторних умовах. Дослідження охоплює не лише параметри зовнішнього дихання, кровообігу та споживання кисню організмом у стані спокою та під час фізичних навантажень, а й характеристики об'ємної швидкості надходження кисню до легень, альвеол, транспорту його артеріальною та змішаною венозною кров'ю. Проаналізовано зміни парціального тиску кисню на різних етапах його шляху в організмі, оцінено економічність кардіореспіраторної системи (КРС) та ефективність режимів масопереносу кисню (РМК), а також їх регулювання. Методика комплексного підходу включає визначення ряду вихідних показників, які використовуються для розрахунків параметрів РМК та показників ефективності, а також економічності КРС. У статті розкрито структуру функціонального забезпечення спеціальної працездатності спортсменів з різною спрямованістю адаптаційних реакцій. Проведено оцінку реакції КРС на гіпоксичні, гіперкапічні чи ацидемічні зсуви з урахуванням особливостей РМК. В статті також подано якісні та кількісні характеристики кінетики фізіологічних процесів за високої інтенсивності фізичних навантажень. Комплексний

підхід дозволяє виявити якісні відмінності в РМК, порівняння яких дає детальну інформацію про аеробну продуктивність та її обмеження, відкриваючи можливості для пошуку нових резервів мобілізації функціонального потенціалу спортсменів. Усі аспекти дослідження базуються на спеціалізованих реактивних властивостях організму.

Отримана методика комплексного підходу до визначення функціональних можливостей організму спортсменів, зосереджена на аналізі режимів масопереносу респіраторних газів та енергетичних характеристик, дозволяє встановлювати якісні і кількісні відмінності в реакції кардіореспіраторної системи та енергозабезпеченні під час модуляції фізіологічного навантаження.

Ключові слова: функціональні можливості, кардіореспіраторна система, режими масопереносу кисню, енергозабезпечення спеціальної працездатності.

METHODOLOGY OF A COMPLEX APPROACH TO DETERMINING THE FUNCTIONAL CAPABILITIES OF THE ATHLETES' BODY BY ANALYZING THE MODES OF GAS TRANSFER REGIMES AND ENERGY CHARACTERISTICS

Filippov M. M., Diachenko A. Yu., Diachenko O. A., Samsiy R. M., Komolafe D. O., Ilyin V. M.

Abstract. In the current landscape of high-performance sports, intense competition demands the exploration of new reserves to mobilize athletes' functional potential. The substantial volume of data obtained from functional diagnostics of athletes across various sports disciplines is diverse in content, including key characteristics of the body's respiratory system, cardiocirculatory dynamics, blood gas transport capabilities, energy parameters, and more. This diversity makes comprehensive data processing and qualitative analysis challenging. Therefore, there is a need to refine the system of data collection, analysis, and interpretation in laboratory research.

The article discusses conceptual approaches to the methodology of conducting comprehensive physiological examinations of athletes in laboratory settings. The research encompasses not only parameters of external respiration, blood circulation, and oxygen consumption by the body at rest and during physical exertion, but also characteristics of the volume rate of oxygen delivery to the lungs, alveoli, and its transport by arterial and mixed venous blood. The changes in partial pressure of oxygen at various stages of its pathway in the body are analyzed, and the efficiency of the cardiopulmonary system (CPS) and oxygen mass transport regimes (OMTR) are evaluated, along with their regulation. The methodology of the comprehensive approach involves determining a series of initial indicators, which are then used to calculate OMTR parameters, efficiency indicators, and CPS economy. The article reveals the structure of the functional support of athletes' special working capacity, considering the diverse nature of their adaptive reactions. An assessment of CPS reactions to predominantly hypoxic, hypercapnic, or acidemic shifts is conducted, taking into account the specifics of OMTR. Additionally, qualitative and quantitative characteristics of the kinetics of physiological processes under conditions of high-intensity physical loads are presented in the article.

The comprehensive approach allows for the identification of qualitative differences in OMTR, comparisons of which provide detailed information not only about aerobic productivity but also about what sustains it and what limits it. This opens up possibilities for exploring new reserves to mobilize athletes' functional potential. All aspects of the research are based on the specialized reactive properties of the organism.

Key words: functional capabilities, cardiorespiratory system, oxygen mass transfer regimes, energy supply of specific work capacity.

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

Filippov M. M.: <https://orcid.org/0000-0001-5096-7445> ^{ADEF}
Diachenko A. Yu.: <https://orcid.org/0000-0001-9781-3152> ^{ABDE}
Diachenko O. A.: <https://orcid.org/0009-0003-8380-3713> ^{BCD}
Samsiy R. M.: <https://orcid.org/0009-0002-5771-2087> ^{BCD}
Komolafe D. O.: <https://orcid.org/0000-0003-0279-0512> ^{BCD}
Ilyin V. M.: <https://orcid.org/0000-0001-7140-0659> ^{AEF}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

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

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Дяченко Diachenko Olga Andriyivna / Ольга Андріївна
National University of Ukraine on Physical Education and Sport /
Національний університет фізичного виховання і спорту України
Address: 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 24.01.2024 / Стаття надійшла 24.01.2024 року
Accepted 01.05.2024 / Стаття прийнята до друку 01.05.2024 року