

Національний університет фізичного виховання і спорту України  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

КОМОЛАФЕ ДАМІЛОЛА ОЛУВАСЕЇВНА

УДК: 796.012.1-053.6:612.22(043.3)

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОЯВУ ГІПОКСІЇ НАВАНТАЖЕННЯ У ПІДЛІТКІВ В  
ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РУХОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

091 Біологія

09 Біологія

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Д. О. Комолафе

Науковий керівник: Філіппов Михайло Михайлович, доктор біологічних наук,  
професор

Київ – 2023

## АНОТАЦІЯ

*Комолафе Д. О.* Особливості прояву гіпоксії навантаження у підлітків в залежності від рухової діяльності. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 Біологія. – Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, 2023.

Аналіз та узагальнення сучасної науково-методичної літератури свідчать про недостатнє уявлення стосовно складного процесу просування кисню в організмі і постачання його до працюючих м'язів, ступеня відповідності цього постачання кисневому запиту. Нажаль, такі відомості в основному стосуються дорослих людей.

Передбачається, що виникаюча при фізичних навантаженнях киснева недостатність у підлітків, у зв'язку з пубертатною перебудовою нервово-гуморальних механізмів, може мати свої особливості.

Тому вважаємо, що розуміння механізмів її розвитку і компенсації у підлітків може розширити знання не тільки для теорії гіпоксичних станів і фізіології рухової діяльності, а і може бути використано у практиці підготовки спортсменів.

Мета дослідження. Дослідити особливості РМК, фізіологічні механізми розвитку та компенсації гіпоксії навантаження у підлітків в залежності від їх вікового розвитку і стану фізичної підготовленості.

Методологія дослідження базується на комплексному підході, включаючи дослідження функції зовнішнього дихання, гемодинаміки, поетапного масопереносу  $O_2$  і  $CO_2$ , фізіологічному методі визначення фізичної працездатності, і аналізі можливостей тканинних механізмів споживання кисню при різних ступенях гіпоксії навантаження.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі результатів дослідження із використанням інформативних критеріїв оцінки були отримані

нові наукові дані стосовно характеру та відмінностей розвитку і компенсації гіпоксії навантаження у нетренованих підлітків від дорослих, а також від юних спортсменів. Також були отримані нові дані стосовно особливостей розвитку гіпоксії навантаження у підлітків-дівчат з порушеною кисневою ємністю крові при фізичних навантаженнях.

У ході дослідження отримані дані, які мають новизну, зокрема:

*вперше* в наших дослідженнях показано, що виконання однакових за потужністю навантажень підлітками та дорослими відбувається при неоднакових режимах масопереносу кисню (РМК): у підлітків діяльність кардіо-респіраторної системи (КРС) менш ефективна, киснева вартість роботи вища, коефіцієнт корисної дії нижчий;

*вперше* показано що у підлітків, на відміну від дорослих, потужність функціонування системи поетапного переміщення кисню в організмі при фізичних навантаженнях обмежується неможливістю адекватного напруження кардіореспіраторної системи. При цьому ступінь гіпоксії навантаження не досягає таких значень як у дорослих;

*вперше* показано, що у процесі вікового розвитку та в результаті спортивного тренування збільшується потужність системи доставки кисню, підвищується ефективність гемодинаміки щодо забезпечення тканин киснем, розвиваються механізми, що зумовлюють його повну утилізацію з крові;

*вперше* показано, що в результаті зниження кисневої ємності крові при виконанні фізичних навантажень навіть невисокої інтенсивності значно зростає кисневий запит організму, збільшується киснева вартість роботи, більшим виявляється кисневий борг, до більшого ступеня розвивається гіпоксія навантаження.

Результати дослідження *підтверджують* існуючі в науковій літературі дані стосовно відмінностей в системах крові, кровообігу і дихання, які відрізняють підлітків від дорослих і можуть здійснювати вплив на РМК в організмі при м'язовій діяльності.

Контингент досліджуваних: підлітки 13-14 років (16 хлопців), які не займаються спортом, нетреновані дорослі чоловіки 21-28 років (16 осіб), та 16 юних велосипедистів 13-14 років. Для порівняння вікових змін КРС та РМК проведено аналіз отриманих результатів в наших дослідженнях з даними аналогічно приведеними в літературі стосовно дорослих велосипедистів. Також проведено обстеження 14-ти здорових дівчат та 12-ти, які страждають ювенільними порушеннями становлення менструальної функції віком 14-16 років.

Нами було показано, що вдосконалення системи постачання організму киснем з віком та у процесі тренування йде нерівномірно. Дихання, кровообіг та тканинні механізми утилізації кисню розвиваються неоднаково. Проведений нами кореляційний аналіз дозволив виявити, що у підлітковому віці, навіть незважаючи на спортивне тренування, дихання у відношенні забезпечення організму киснем ще не таке ефективне, тоді як ефективність кисневотранспортної функції крові (КТФК) ще зберігається. Ефективність підвищується із віком, що ми спостерігали у нетренованих чоловіків. Найефективніші співвідношення спостерігаються у дорослих спортсменів, у яких і зовнішнє дихання, і кровообіг, і КТФК і тканинні механізми утилізації кисню однаковою мірою сприяють збільшенню швидкості споживання кисню.

Зазначені зміни у системі дихання, кровообігу, КТФК призводять до того, що характеристики РМК з віком та у процесі тренування значно змінюються і вдосконалюються. Як показали проведені нами дослідження, РМК нетренованих підлітків при динамічній м'язовій діяльності з максимальною та субмаксимальною інтенсивністю відрізняються від РМК чоловіків нижчим загальним рівнем каскадів швидкості поетапного просування кисню в організмі.

При максимальних навантаженнях ступінь глибини та частоти дихання у підлітків та чоловіків неоднакова, тоді як у останніх у збільшенні легеневої вентиляції (ЛВ) важливе значення має можливість підвищення дихального

об'єму, ніж почастішання дихання. Менша величина ЛВ у підлітків призводить до того, що швидкість надходження кисню в легені у них виявляється нижчою за чоловіків. Дуже важливим показником, що зумовлює меншу швидкість надходження кисню до альвеол у підлітків є невисоке відношення альвеолярної вентиляції та легеневої. Все це призводить до того, що функція зовнішнього дихання у підлітків виявляється недостатньо економічною та ефективною.

Поряд із цим, КТФК у підлітків також менш ефективна. Хоча максимальна ЧСС мало відрізняється у тренуваних підлітків і чоловіків, максимальний хвилинний об'єм крові (ХОК) у підлітків менший. Це пояснюється більш обмеженою здатністю серця збільшувати систолічний об'єм крові (СО) при м'язовій діяльності.

Менша швидкість кровотоку не забезпечує необхідної швидкості транспорту кисню з артеріальною кров'ю, проте збільшення споживання кисню у підлітків обмежується не тільки низькою швидкістю доставки кисню до працюючих м'язів, але і меншими можливостями його використання тканинами. У зв'язку з меншою утилізацією кисню, у підлітків артеріо-венозна відмінність за киснем під час фізичного навантаження нижче, а не використаний запас кисню у змішаній венозній крові по відношенню до споживання кисню вищий, ніж у чоловіків., тобто в них обмежена можливість використання кисневого резерву. Зниження напруги кисню в змішаній венозній крові у підлітків свідчило про розвиток тканинної гіпоксії.

Суттєві відмінності РМК та КТФК при динамічній м'язовій діяльності виявлені не тільки у нетренуваних підлітків та дорослих, але ще й більшою мірою у юних спортсменів. Проведені дослідження показали, що внаслідок занять спортом значно підвищується швидкість поетапної доставки кисню до тканин. Поряд із збільшеною доставкою кисню тканинам швидкість його транспорту змішаною венозною кров'ю стає меншою. Ще більше знижується співвідношення між кількісним поетапним рухом кисню в організмі зі

швидкістю його споживання, що наряду з підвищеною потужністю кисенево-транспортної системи організму свідчить про високу її ефективність. Навантаження з МСК дорослими спортсменами виконуються за меншої інтенсивності надходження кисню до легень та альвеол та однакової інтенсивності транспорту його артеріальною кров'ю. Інтенсивність споживання кисню у дорослих вища за рахунок кращої утилізації кисню тканинами, в результаті чого транспорт кисню змішаною венозною кров'ю у них значно нижчий.

Таким чином, в результаті спортивного тренування не тільки у зрілому, а й у підлітковому віці ефективність та економічність КТФК при МСК значно підвищується. Внаслідок занять спортом у підлітковому віці значно збільшується коефіцієнт використання кисню тканинами з артеріальної крові. Краще використання кисню призводить до того, що гемодинамічний еквівалент стає нижчим: у нетренованих підлітків кожен літр кисню вилучався тканинами з 9,2 літрів циркулюючої крові, у чоловіків - з 8,8, у юних велосипедистів – з 8,0, а у дорослих спортсменів - лише 6,8 літрів. Поряд з цим у нетренованих як підлітків, так і дорослих максимальні величини ХОК нижчі, ніж у юних і дорослих спортсменів, що пояснюється меншими можливостями збільшення CO. У дорослих спортсменів кисневий ефект серцевого скорочення значно більший, ніж у тренуваних підлітків та нетренованих чоловіків.

Велика економічність та ефективність КТФК спортсменів знаходять собі пояснення у розвитку механізмів, які забезпечують повнішу утилізацією кисню тканинами. Незважаючи на те, що спортсмени при фізичному навантаженні зазнають великої артеріальної гіпоксемії, рівень напруження кисню в артеріальній крові у них більший ніж у нетренованих.

Більш низькі величини вмісту кисню у змішаній венозній крові свідчать про те, що артеріо-венозна відмінність за киснем у спортсменів у процесі м'язової діяльності збільшується більше.

У той самий час швидкість споживання кисню підвищується і в нетренованих і у спортсменів переважно за рахунок збільшення швидкості транспорту кисню артеріальною кров'ю. Більш високі артеріо-венозна відмінність за киснем і коефіцієнт його використання тканинами призводять до того, що швидкість транспорту кисню змішаною венозною кров'ю, незважаючи на підвищений ХОК, у спортсменів і особливо у дорослих виявляється на нижчому рівні. Зазначений факт видається дуже важливим і вказує на те, що у нетренованих підлітків та у чоловіків у порівнянні зі спортсменами швидкість споживання кисню обмежується не тільки неможливістю збільшувати швидкість доставки кисню до тканин, але також меншою здатністю його використання. Якщо порівняти навіть юних велосипедистів із дорослими спортсменами, то виявляється, що підвищення коефіцієнта утилізації кисню сприяло б збільшенню його споживання на 400-450 мл/хв, а швидкість транспорту кисню змішаною венозною кров'ю була б такою, як у дорослих спортсменів. Безпосередньо після припинення роботи вміст кисню в артеріальній крові і, особливо, змішаній венозній підвищується досить швидко, при цьому швидкість транспорту кисню артеріальною кров'ю відразу знижується, що більшою мірою проявляється у спортсменів.

Дослідження та порівняння, які ми провели у даній роботі, а також практичне застосування комплексного методу при обстеженні юних велосипедистів по велоспорту показали його високу придатність та великі переваги перед загальноприйнятим фізіологічним критерієм оцінки аеробної продуктивності тільки за показником МСК.

Проведені нами дослідження показали, що лабораторні комплексні прямі визначення рівня фізичної працездатності, а також МСК є більш інформативними, ніж розрахункові, як для підлітків різного ступеня фізичної тренуваності так і дорослих.

Також комплексний аналітичний підхід для визначення режимів масопереносу кисню при фізичних навантаженнях різної потужності показав,

що він дозволяє досить ретельно зробити оцінку функціонального стану та ступеня фізичної тренуваності та може бути успішно застосованим для контролю за станом організму.

Нам вдалося дослідити вплив змін КСК, що визначається вмістом гемоглобіну в крові, на постачання кисню до працюючих тканин. Отримані в процесі проведеного дослідження дані підтверджують результати теоретичних положень про роль кисневої ємності крові у регуляції процесу масопереносу та утилізації кисню при м'язовій діяльності. Тобто, в результаті зниження концентрації гемоглобіну при виконанні фізичних навантажень навіть невисокої інтенсивності зростає, порівняно з тим, що спостерігається зазвичай у здорових осіб, кисневий запит організму, збільшується киснева вартість роботи, більшим виявляється кисневий борг.

За результатами роботи отримано акт впровадження основних положень, що витікають з дисертаційного дослідження, в навчальний процес профільної кафедри НУФВС України.

Також, отримані дані можуть бути використаними спортивними фізіологам та лікарями, здійснювати контроль за функціональним станом спортсменів, визначати функціональні резерви організму, прогнозувати шляхи їх реалізації.

**Ключові слова:** киснева недостатність, фізична працездатність, максимальне споживання кисню, м'язова діяльність, киснева ємність крові, масопереносу кисню та його споживання, киснево-транспортна функція крові, гіпоксія навантаження.



## SUMMARY

*Komolafe D.* Peculiarities of the manifestation of exercise-induced hypoxia of teenagers depending on motor activity. – Scientific qualification work with manuscript rights.

Dissertation for the Doctor of Philosophy degree in 091 - Biology. – National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, 2023.

The analysis and generalization of modern scientific and methodical literature indicate insufficient understanding of the complex process of oxygen promotion in the body and its supply to working muscles, the level of compliance of this supply with the oxygen demand. Unfortunately, such information mainly concerns adults.

It is assumed that the lack of oxygen arising during physical exertion of teenagers, in connection with the pubertal restructuring of the neuro-humoral mechanisms, may have its own characteristics.

Therefore, we believe that understanding the mechanisms of its development and compensation of teenagers can expand knowledge not only for the theory of hypoxic states and the physiology of motor activity, but also can be used in the practice of training athletes.

The aim of the study. To investigate the features of the modes of oxygen transport, physiological mechanisms of development and compensation of hypoxia load in adolescents depending on their age development and state of physical fitness.

The research methodology is based on a comprehensive approach, including research on the function of external respiration, hemodynamics, phased mass transfer of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>, a physiological method of determining physical capacity, and an analysis of the possibilities of tissue mechanisms of oxygen consumption at different levels of hypoxia load.

Scientific novelty of the obtained results. Based on the results of the study using informative evaluation criteria, new scientific data were obtained regarding the nature and differences in the development and compensation of hypoxia of the load of untrained teenagers from adults, as well as from young athletes. Also, new

data were obtained regarding the peculiarities of the development of exercise hypoxia in teenage girls with impaired blood oxygen capacity during exercise.

In the course of the research, new data were obtained, in particular:

for the first time in the experiment, it was shown that performance of loads of the same power by teenagers and adults takes place with unequal mode of oxygen mass transfer (MOMT): for teenagers, the activity of the cardio-respiratory system (CRS) is less effective, the oxygen cost of work is higher, the efficiency ratio is lower;

it was shown for the first time that for teenagers compare to adults the power of functioning of the system of gradual movement of oxygen in the body during physical exertion is limited by the impossibility of adequate stress on the cardiorespiratory system. At the same time, the level of hypoxia of the load does not reach such values as for adults;

it was shown for the first time that in the process of age development and as a result of sports training, the capacity of the oxygen delivery system increases, the efficiency of hemodynamics increases in the provision of tissues with oxygen, and the mechanisms that cause its complete utilization from the blood develop;

it was shown for the first time that as a result of a decrease in the oxygen capacity of the blood during physical exertion, even of low intensity, the oxygen demand of the body increases significantly, the oxygen cost of work increases, the oxygen debt becomes greater, and hypoxia of the load develops to a greater degree.

The results of the study confirm the data available in the scientific literature regarding the differences in the Circulatory and Respiratory Systems, which distinguish teenagers from adults and can influence the MOMT of the body during muscle activity.

Subjects: teenagers 13-14 years old who do not play sports, untrained adult men 21-28 years old, and 16 young cyclists. In order to compare the age-related changes in the CRS and MOMT, an analysis of the results obtained in our studies with data similarly given in the literature for adult cyclists was carried out. An

examination of 14 healthy girls and 12 suffering from juvenile disorders of menstrual function was also carried out.

We have shown that the improvement of the body's oxygen supply system is uneven. Breathing, blood circulation and tissue oxygen utilization mechanisms develop differently with age and during training. Our correlational analysis revealed that during teenage age, despite sports training, breathing is not yet so effective in terms of supplying the body with oxygen, while the efficiency of the oxygen transport function of the blood (OTFB) is still preserved. Performance increases with age, which we observed for untrained men. The most effective ratios are observed for adult athletes, for whom both external breathing, blood circulation, and OTFB and tissue oxygen utilization mechanisms equally contribute to increasing the rate of oxygen consumption.

The specified changes in the respiratory system, blood circulation, OTFB lead to the fact that the characteristics of the MOMT with age and during training significantly change and improve. As our studies have shown, the MOMT of untrained teenagers during dynamic muscle activity with maximum and submaximal intensity differ from the MOMT of men by a lower overall level of cascades of the speed of stepwise advancement of oxygen in the body.

At maximum loads, the degree of depth and frequency of breathing of teenagers and men is the same, while in the latter, in increasing lung ventilation (LV), the ability to increase the respiratory volume is more important than increasing the frequency of breathing. The smaller value of LV of teenagers leads to the fact that the rate of oxygen entering the lungs is lower than is for men. A low ratio of alveolar ventilation and lung ventilation is a very important indicator that causes a lower rate of oxygen delivery to the alveoli of teenagers. All this leads to the fact that the function of external breathing for teenagers is insufficiently economical and efficient.

Along with this, OTFB is also less effective for teenagers. Although maximum heart rate is little different between trained teenagers and men, maximal

minute blood volume (MBV) is lower for teenagers. This is explained by the more limited ability of the heart to increase the systolic blood volume (SBV) during muscle activity.

The lower velocity of blood flow does not provide the necessary speed of oxygen transport with arterial blood, however, the increase in oxygen consumption for teenagers is limited not only by the low speed of oxygen delivery to the working muscles, but also by lower possibilities of its use by tissues. Due to lower utilization of oxygen, the arterio-venous difference in oxygen during exercise is lower for teenagers, and the used oxygen supply in the mixed venous blood in relation to oxygen consumption is higher than for men, i.e. they have a limited ability to use oxygen reserve. A decrease in oxygen tension in mixed venous blood for teenagers indicated the development of tissue hypoxia.

Significant differences for the MOMT and OTFB during dynamic muscle activity were found not only for untrained teenagers and adults, but also to a greater extent in young athletes. Conducted studies have shown that as a result of sports, the rate of gradual delivery of oxygen to tissues significantly increases. Along with the increased delivery of oxygen to the tissues, the rate of its transport by mixed venous blood becomes lower. The ratio between the quantitative step-by-step movement of oxygen in the body and the rate of its consumption decreases even more, which, along with the increased power of the body's oxygen transport system, indicates its high efficiency. Loads with  $VO_2$  max by adult athletes are performed with a lower intensity of oxygen supply to the lungs and alveoli and the same intensity of its transport by arterial blood. The intensity of oxygen consumption for adults is higher due to better utilization of oxygen by tissues, as a result of which oxygen transport by mixed venous blood is significantly lower in them.

Thus, as a result of sports training, not only in adulthood, but also in teenage age, the effectiveness and cost-effectiveness of OTFB at  $VO_2$  max significantly increases. As a result of playing sports in teenage age, the rate of oxygen utilization by tissues from arterial blood increases significantly. The better use of oxygen leads

to the fact that the hemodynamic equivalent becomes lower: for untrained teenagers, each liter of oxygen was removed by tissues from 9.2 liters of circulating blood, for men - from 8.8, for young cyclists - from 8.0, and for adult athletes - only 6.8 liters. Along with this for untrained teenagers and adults the maximum values of MBV are lower than for young and adult athletes, which is explained by the smaller possibilities of increasing SBV. For adult athletes the oxygen effect of heart contraction is significantly greater than for trained teenagers and untrained men.

The high cost-effectiveness and efficiency of sportsmen's OTFB are explained in the development of mechanisms that ensure a more complete utilization of oxygen by tissues. Despite the fact that during physical exertion, athletes experience severe arterial hypoxemia, the level of oxygen tension in their arterial blood is higher than that of untrained athletes.

Lower levels of oxygen content in mixed venous blood indicate that the arterio-venous difference in oxygen for athletes increases more in the process of muscle activity.

At the same time, the rate of oxygen consumption increases for untrained people and for athletes mainly due to an increase in the rate of oxygen transport by arterial blood. Higher arterio-venous difference in oxygen and the coefficient of its use by tissues lead to the fact that the speed of oxygen transport by mixed venous blood, despite the increased MBV for athletes and especially for adults is at a lower level. This fact appears to be very important and indicates that for untrained teenagers and men, compared to athletes, the rate of oxygen consumption is limited not only by the inability to increase the rate of oxygen delivery to tissues, but also by a lower ability to use it. If we compare even young cyclists with adult athletes, it turns out that an increase in the utilization rate of oxygen would contribute to an increase in its consumption by 400-450 ml/min, and the speed of oxygen transport by mixed venous blood would be the same as for adult athletes. Immediately after the cessation of work, the oxygen content in arterial blood and, especially, in mixed

venous blood increases quite quickly, while the speed of oxygen transport in arterial blood immediately decreases, which is more pronounced in athletes.

The research and comparison that we conducted in this summary, as well as the practical application of the complex method during the examination of young cyclists in cycling, showed its high suitability and great advantages over the generally accepted physiological criterion for assessing aerobic performance based only on the  $\text{VO}_2$  max indicator.

Our studies have shown that laboratory direct determinations of the level of physical fitness, as well as  $\text{VO}_2$  max, are more informative than calculated ones, both for teenagers of various levels of physical fitness and for adults.

Also, a complex analytical approach to determine oxygen mass transfer modes during physical exertion of different power has shown that it allows for a fairly thorough assessment of the functional state and degree of physical training and can be successfully applied to monitor the body's condition and level of training.

We were able to investigate the effect of changes in oxygen carrying capacity blood, which is determined by the hemoglobin content in the blood, on the supply of oxygen to working tissues. The data obtained in the course of the conducted research confirm the results of theoretical statements about the role of the oxygen capacity of the blood in the regulation of the process of mass transfer and utilization of oxygen during muscle activity. That is, as a result of a decrease in the concentration of hemoglobin during exercise, even of low intensity, the body's oxygen demand increases, compared to what is usually observed in healthy individuals, the oxygen cost of work increases, and the oxygen debt turns out to be greater.

According to the results of the work, an act of implementation of the main provisions arising from the dissertation research into the educational process of the specialized department of the National Academy of Sciences of Ukraine was obtained.

Also, the obtained data can be used by sports physiologists and doctors to monitor the functional state of athletes, determine the functional reserves of the body, and predict ways of their implementation.

**Key words:** oxygen deficiency, physical capacity, maximum oxygen consumption, muscle activity, blood oxygen capacity, oxygen mass transfer and its consumption, blood oxygen transport function, hypoxia of the load.

### **Список публікацій здобувача за темою дисертації**

*Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації*

1. Комолафе Д. О., Філіппов М. М. Режимы масоперенесення кисню в організмі нетренованих підлітків і чоловіків при м'язовій діяльності динамічного характеру. *Вісник проблем біології і медицини*. 2023. № 1 (168). С. 86–91. DOI: 10.29254/2077-4214-2023-1-168-86-91 Фахове видання України. *Особистий внесок здобувача полягає в організації та проведенні досліджень, обробці і аналізі результатів.*

2. Комолафе Д. О., Філіппов М. М. Значення кисневої ємності крові для розвитку гіпоксії навантаження. *Вісник проблем біології і медицини*. 2023. № 3 (170). С. 158–167. DOI: 10.29254/2077-4214-2023-3-170-158-167 Фахове видання України. *Особистий внесок здобувача полягає в організації та проведенні досліджень, обробці і аналізі результатів.*

3. Комолафе Д. О., Філіппов М. М. Порівняння фізіологічних показників, що визначають фізичну працездатність підлітків і дорослих в лабораторних та "польових" умовах. *Вісник Черкаського університету. Серія біологічні науки*. 2023. № 2. С. 46–54. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2023-2-46-54 Фахове видання України. *Особистий внесок здобувача полягає в організації та проведенні досліджень, обробці і аналізі результатів.*

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації***

1. Комолафе Д. О. Особливості дихання підлітків як передумова виникнення гіпоксії при м'язовій діяльності. *Молодь та олімпійський рух* : зб. тез доп. XIII Міжнар. конф. молодих вчених, м. Київ, 16 трав. 2020 р. Київ : НУФВСУ, 2020. С. 151–152. URL: [https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/molod\\_xiii\\_zbirnyk\\_\\_2.pdf](https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/molod_xiii_zbirnyk__2.pdf)

2. Комолафе Д. О., Філіппов М. М. Особливості змін в системі зовнішнього дихання у підлітків при фізичних навантаженнях. *Science and practice in the era of globalization*. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference, Rotterdam, Netherlands, January 29–30, 2021. С. 9–11. URL: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2021/01/I-Conference-Science-and-practice-in-the-era-of-globalization.pdf>

3. Комолафе Д. О., Філіппов М. М. Роль кисневої ємкості крові у розвитку гіпоксії навантаження. *Modern methods of solving scientific problems of reality*. Proceedings of the XXXV International Scientific and Practical Conference, Varna, Bulgaria, September 05–08, 2023. Р. 10–11. DOI: <https://isg-konf.com/modern-methods-of-solving-scientific-problems-of-reality/>

4. Комолафе Д. О., Філіппов М. М. Відмінності масопереносу кисню у підлітків і дорослих при фізичних навантаженнях. *Адаптаційні та психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту* : матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф., Київ–Черкаси, 7–8 грудня 2023 р. Київ–Черкаси, 2023. С. 164–165. URL: [https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/tezy\\_2023\\_1.pdf](https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/tezy_2023_1.pdf)

***Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації***

1. Komolafe D. O., Filippov M. M., Ilyin V. N., Klimenko A. V. Age features of O<sub>2</sub> mass transfer regimes in adolescents' body at rest. *Journal of Education, Health and Sport*. 2021. № 11 (12). Р. 344–349. DOI: 10.12775/JEHS.2021.11.12.028



## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....   | 19 |
| ВСТУП .....  | 22 |
| РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО РОЗВИТОК ТА КОМПЕНСАЦІЮ<br>ГІПОКСИЧНИХ СТАНІВ, ОСОБЛИВОСТІ КАРДІОРЕСПІРАТОРНОЇ<br>СИСТЕМИ ПІДЛІТКІВ ..... | 27 |
| 1.1 Загальна характеристика гіпоксії та механізми її розвитку .....  | 27 |
| 1.1.1 Поняття гіпоксії.....  | 27 |
| 1.1.2 Класифікація гіпоксичних станів .....  | 28 |
| 1.1.3 Метаболічні механізми гіпоксії.....  | 32 |
| 1.1.4. Молекулярні механізми гіпоксії.....   | 35 |
| 1.1.5 Стійкість організму до гіпоксії.....   | 38 |
| 1.2 Гіпоксія навантаження .....  | 39 |
| 1.3 Особливості кардіореспіраторної системи у підлітків.....   | 42 |
| 1.3.1 Особливості системи крові та кровообігу у підлітків.....   | 42 |
| 1.3.2 Особливості системи дихання у підлітків .....  | 43 |
| Висновки до розділу 1 .....  | 45 |
| РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....  | 47 |
| 2.1 Організація дослідження.....   | 47 |
| 2.2 Методичні підходи до проведення дослідження .....  | 50 |
| 2.2.1 Методи досліджень .....  | 50 |
| 2.2.2 Аналіз наукової і науково-методичної літератури .....  | 50 |
| 2.2.3 Метод антропометрії .....  | 51 |
| 2.2.4 Метод спірометрії .....  | 51 |
| 2.2.5 Методи визначення параметрів серцево-судинної системи.....   | 52 |
| 2.2.6 Визначення кисневозв'язувальних властивостей крові .....   | 52 |
| 2.2.7 Методи математичної обробки результатів .....  | 53 |
| РОЗДІЛ 3 ВІКОВІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЯВУ ГІПОКСІЇ НАВАНТАЖЕННЯ<br>ПРИ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ ДИНАМІЧНОГО ХАРАКТЕРУ .....                       | 55 |

|  |            |
|--|------------|
| 3.1 Характеристика умов масопереносу кисню в стані відносного спокою та фізичних навантажень у нетренованих підлітків і чоловіків .....  | 55         |
| 3.2 Роль кисневої ємності крові в регуляції процесу масопереносу та утилізації кисню, розвитку гіпоксії навантаження.....  | 81         |
| Висновки до розділу 3 .....  | 86         |
| <b>РОЗДІЛ 4 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЯВУ ГІПОКСІЇ НАВАНТАЖЕННЯ У ПІДЛІТКІВ І ДОРΟΣЛИХ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТРЕНОВАНОСТІ ОРГАНІЗМУ, ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ФІЗИЧНОЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ.....</b> | <b>88</b>  |
| 4.1 Вплив спортивного тренування на прояв гіпоксії навантаження у підлітків і дорослих.....  | 88         |
| 4.2 Порівняння прямих та непрямих методів визначення фізичної працездатності підлітків.....  | 143        |
| Висновки до розділу 4 .....  | 159        |
| <b>РОЗДІЛ 5 АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ....</b>  | <b>161</b> |
| Висновки до розділу 5 .....  | 173        |
| <b>ВИСНОВКИ.....</b>   | <b>175</b> |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>   | <b>178</b> |
| <b>ДОДАТКИ.....</b>  | <b>195</b> |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КТФК- киснево-транспортна функція крові

РМК- режим масопереносу кисню

КРС- кардіореспіраторна система

ЗЄЛ- загальна ємність легень, л

ЖЄЛ- життєва ємність легень, л

КЄК- киснева ємність крові, об. %

$KU_T O_2$  - коефіцієнт утилізації кисню тканинами з артеріальної крові, %

$KU_L O_2$  - коефіцієнт використання кисню в легенях, %

RQ (ДК)- дихальний коефіцієнт, ум. од.

ХОК- хвилинний об'єм крові мл/хв

Hb- гемоглобін, мг %

ККД- коефіцієнт корисної дії, %

ФМДП- фізіологічно мертвий дихальний простір, мл

КБ- кисневий борг, мл

АТ- артеріальний тиск, мм рт. ст.

pH- водневий показник

VE- вентиляційний еквівалент,  $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$

HE- гемодинамічний еквівалент,  $\dot{Q}/\dot{V}O_2$

HR (ЧСС)- частота серцевих скорочень за одну хвилину

f (ЧД)- кількість подихів за одну хвилину

$\dot{V}_E$ - хвилинний об'єм видихуваного повітря, мл/хв

$\dot{V}_A$ - альвеолярна вентиляція, мл/хв

$V_T$ - дихальний об'єм, мл

$\dot{Q}$ - хвилинний об'єм крові, мл/хв

$Q$  - ударний об'єм крові, мл

$S_aO_2$ - насичення артеріальної крові киснем, %

$S_{\bar{v}}O_2$ - насиченість киснем змішаної венозної крові, %

$P_iO_2$ - парціальний тиск кисню у вдихуваному повітрі, мм рт. ст.

$P_AO_2$ - парціальний тиск кисню в альвеолярному повітрі, мм рт. ст.

$P_aO_2$ - напруження кисню в артеріальній крові, мм рт. ст.

$P_{\bar{v}}O_2$ - напруження кисню в змішаній венозній крові, мм рт. ст.

$F_iO_2$ - концентрація кисню у вдихуваному повітрі, об.%

$F_EO_2$ - концентрація кисню видихуваному повітрі, об.%

$F_AO_2$ - концентрація кисню у альвеолярному повітрі, об.%

$C_aO_2$ - вміст кисню в артеріальній крові, об.%

$C_{\bar{v}}O_2$ - вміст кисню в змішаній венозній крові, об.%

$C_{(a-\bar{v})}O_2$ - артеріо-венозна різниця за киснем, об.%

$q_iO_2$  - швидкість надходження кисню до легень, мл/хв

$q_AO_2$  - швидкість надходження кисню до альвеол, мл/хв

$q_aO_2$ - швидкість транспортування кисню артеріальною кров'ю, мл/хв

$q_tO_2$  ( $\dot{V}O_2$ )- швидкість споживання кисню, мл/хв

$\dot{V}O_{2max}$  (МСК)- максимальне споживання кисню, л/хв

$q_{\bar{v}}O_2$ - швидкість транспортування кисню змішаною венозною кров'ю, мл/хв

$q_tO_{2C}$ ( $q_tO_2/HR$ )- кисневий ефект серцевого циклу, мл

$q_tO_{2RC}$  ( $q_tO_2/f$ ) - кисневий ефект дихального циклу, мл

АТФ- аденозинтрифосфат

НАДН - нікотинаміддинуклеотид

ФАДН- флавінаденіндинуклеотид

НАД - нікотинамід

ФАД- флавінаденіндинуклеотид

ПОЛ- перекисне окислення ліпідів

АФК - активна форма кисню

ДНК- дезоксирибонуклеїнова кислота

HIF- індукований гіпоксією фактор, hypoxia-inducible factor

HIF-1 - індукований гіпоксією фактор 1, hypoxia-inducible factor 1

HREs- елементи відповіді на гіпоксію, hypoxia response elements

VEGF- ендотеліальний фактор росту судин, vascular endothelial growth factor

PGF- плацентарний фактор росту, placental growth factor

PDGFB- субодиниця тромбоцитарного фактора зростання В, platelet- Derived Growth Factor В

SDF-1- фактор стромальних клітин-1, stromal cell-derived factor-1

CXCR4- хемокіновий рецептор типу 4, chemokine receptor type 4

GLUT1- глюкозний транспортер тип 1, glucose Transporter 1

IGF-2- інсуліноподібний фактор росту-2, insulin-Like Growth Factor-2

TGF- $\beta$ - трансформуючий фактор зростання  $\beta$ , transforming growth factor  $\beta$

NO- оксид азоту, nitric oxide

NOS2- індукована синтаза оксиду азоту, nitric oxide synthase 2

PWC<sub>170</sub> - проба для визначення фізичної працездатності, Physical Working Capacity

ЕКГ- електрокардіографія

$\bar{x}$  - середня арифметична

$m \pm$ - помилка середнього

$s$ - стандартне відхилення

## ВСТУП

Згідно з даними літератури з фізіології м'язової діяльності та спортивної медицини, вважається, що одним з основних факторів, які обмежують фізичну працездатність, є киснева недостатність. При цьому основна увага дослідників приділялась дефіциту кисню, кисневому боргу, артеріальній гіпоксемії. Майже відсутня інформація складного процесу просування в організмі і постачання його до працюючих м'язів, ступеня відповідності цього постачання кисневому запиту. В основному роботи з цього питання стосуються дорослих людей. Нажаль, відомостей про такі зміни у підлітків, в залежності від ступеня рухової діяльності, дуже мало.

**Актуальність.** В останні роки фізіологи, біохіміки, біофізики вийшли на новий рівень розуміння механізмів регуляції процесів, що забезпечують життєдіяльність організму як у стані спокою, так і при руховій активності різної інтенсивності.

Передбачається, що виникаюча при фізичних навантаженнях киснева недостатність (**гіпоксія навантаження**) у підлітків, у зв'язку з пубертатною перебудовою нервово-гуморальних механізмів, може мати свої особливості.

Тому вважаємо, що розуміння механізмів її розвитку і компенсації у підлітків може розширити знання не тільки для теорії гіпоксичних станів і фізіології рухової діяльності, а і може бути використано у практиці підготовки спортсменів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі медико-біологічних дисциплін Національного університету фізичного виховання і спорту України, відповідно до Плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2016-2020 рр., за темою 2.8 «Особливості соматичних, вісцеральних та сенсорних систем у кваліфікованих спортсменів на різних етапах підготовки» (№ державної

реєстрації 0116U001632) та теми Плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021-2025 рр., тема 2.8 «Вплив ендогенних та екзогенних та факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (державний реєстраційний номер 0121U108187).

**Мета дослідження** – дослідити фізіологічні особливості режимів масопереносу кисню, механізмів розвитку та компенсації гіпоксії навантаження у підлітків в залежності від вікового розвитку і стану фізичної підготовленості.

**Завдання дослідження:**

- 1) провести за даними літературних джерел аналіз механізмів розвитку і компенсації гіпоксії, що виникає при фізичних навантаженнях;
- 2) комплексно дослідити характер змін кардіореспіраторної системи, масопереносу респіраторних газів в організмі підлітків і дорослих, розвитку і компенсації гіпоксії навантаження при м'язовій діяльності різної потужності і інтенсивності;
- 3) проаналізувати роль кисневої ємності крові в розвитку гіпоксії навантаження;
- 4) визначити зміни кардіо-респіраторної системи організму підлітків під впливом занять спортом, та як при цьому відбуваються процеси масопереносу кисню та прояви гіпоксії навантаження;
- 5) провести порівняння різних фізіологічних методичних підходів, що використовуються при оцінці стану фізичної тренуваності підлітків для застосування розроблених комплексних підходів при контролі за станом організму та визначення ступеня його тренуваності.

**Об'єкт дослідження** – адаптивні зміни киснево-транспортної системи організму підлітків, у яких різна рухова активність.

**Предмет дослідження** – адаптаційні перебудови механізмів переносу кисню в організмі підлітків під впливом активізації рухової діяльності та при різних проявах гіпоксії навантаження.

**Методи дослідження.** Використовували сучасні методи дослідження функції зовнішнього дихання, гемодинаміки, поетапного масопереносу  $O_2$  і  $CO_2$ , фізіологічні методи визначення фізичної працездатності, і проводили аналіз можливостей тканинних механізмів споживання кисню, при визначенні ступенів гіпоксії навантаження тощо.

**Наукова новизна.** У ході дослідження отримані дані, які мають новизну, зокрема:

*вперше* в наших дослідженнях показано, що виконання однакових за потужністю навантажень підлітками та дорослими відбувається при неоднакових режимах масопереносу кисню (РМК): у підлітків діяльність кардіо-респіраторної системи (КРС) менш ефективна, киснева вартість роботи вища, коефіцієнт корисної дії нижчий;

*вперше* показано що у підлітків, на відміну від дорослих, потужність функціонування системи поетапного переміщення кисню в організмі при фізичних навантаженнях обмежується неможливістю адекватного напруження кардіореспіраторної системи. При цьому ступінь гіпоксії навантаження не досягає таких значень як у дорослих;

*вперше* показано, що у процесі вікового розвитку та в результаті спортивного тренування збільшується потужність системи доставки кисню, підвищується ефективність гемодинаміки щодо забезпечення тканин киснем, розвиваються механізми, що зумовлюють його повну утилізацію з крові;

*вперше* показано, що в результаті зниження кисневої ємності крові при виконанні фізичних навантажень навіть невисокої інтенсивності значно зростає кисневий запит організму, збільшується киснева вартість роботи, більшим виявляється кисневий борг, до більшого ступеня розвивається гіпоксія навантаження.



Результати дослідження *підтверджують* існуючі в науковій літературі дані стосовно відмінностей в системах крові, кровообігу і дихання, які відрізняють підлітків від дорослих і можуть здійснювати вплив на РМК в організмі при м'язовій діяльності.

Дослідження проводили за участі осіб за їх особистої згоди, відповідно до рекомендацій етичних комітетів з питань біомедичних досліджень, Гельсінської декларації 2000 р., і директиви Європейського товариства 86/609 стосовно участі людей у медико-біологічних дослідженнях.

**Публікації.** Наукові результати дисертації висвітлені в 8 наукових публікаціях: 3 статті у наукових виданнях з переліку наукових фахових видань України; 4 публікації апробаційного характеру; 1 публікація додатково відображає наукові результати дисертації (додаток А).

**Особистий внесок здобувача.** У спільних публікаціях здобувачеві належать пріоритети в організації, формуванні напрямків досліджень, в аналізі, описі, обговоренні фактичного матеріалу й у теоретичному узагальненні. Внесок співавторів полягав у проведенні спільних досліджень, у статистичному аналізі й інтерпретації результатів дослідження.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дослідження представлені в наукових доповідях (тезах) на XIII Міжнародній конференції молодих вчених «Молодь і олімпійський рух» (м. Київ, НУФВСУ, 2020); на Abstracts of I International Scientific and Practical Conference «Science and practice in the era of globalization» (м. Роттердам, 2021); на Proceedings of the XXXV International Scientific and Practical Conference «Modern methods of solving scientific problems of reality» (м. Варна, 2023); на I Міжнародній науково-практичній конференції «Адаптаційні та психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту» (Київ - Черкаси 2023) (додаток Б).

**Практичне значення.** На основі отриманих теоретичних положень розроблені методичні рекомендації щодо визначення стратегії планування

фізичних навантажень для підлітків з різним рівнем рухової активності, а також дівчат з порушенням КТФК.

Представлені в роботі матеріал і висновки впроваджені у навчальний процеси студентів та науково-дослідну діяльність: кафедри водних видів спорту Національного університету фізичного виховання і спорту України (акт впровадження від 09 лютого 2023 р., додаток В); кафедри медико-біологічних дисциплін Національного університету фізичного виховання і спорту України (акт впровадження від 16 травня 2023 р., додаток Г); кафедри біомедицини Навчально-наукового центру «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Шевченка (акт впровадження від 26 січня 2023 р. та 17 лютого 2023 р., додаток Д, Е);

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 201 сторінках тексту комп'ютерного набору державною мовою. Вона складається з анотації, переліку умовних позначень, скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та 5 додатків. Робота ілюстрована 39 таблицями й 30 рисунками. Усього використано 157 джерел наукової та спеціалізованої літератури, з них 108 – іноземних.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО РОЗВИТОК ТА КОМПЕНСАЦІЮ ГІПОКСИЧНИХ СТАНІВ, ОСОБЛИВОСТІ КАРДІОРЕСПІРАТОРНОЇ СИСТЕМИ ПІДЛІТКІВ

#### 1.1 Загальна характеристика гіпоксії та механізми її розвитку

##### 1.1.1 Поняття гіпоксії

Кисень грає життєво важливу роль в метаболізмі еукаріотів як кінцевий акцептор електронів в мітохондріальному електрон-транспортному ланцюгу, який відповідальний за генерування енергії у вигляді АТФ [1, 2, 3, 4, 5]. Достатнє постачання киснем клітини і тканини є невід'ємною умовою для нормального функціонування організму. порушення балансу між потребою в кисні і його доставкою призводить до розвитку гіпоксії і, таким чином, становить значну загрозу біоенергетичному гомеостазу і виживанню клітин. Термін «гіпоксія» (hypoxia) походить від грецького hupo - «нижче» і латинського oxigenium- «кисень» і означає недостатнє постачання тканин організму O<sub>2</sub> або порушення його утилізації в процесі біологічного окислення.

Проблема нестачі кисню є однією з фундаментальних у сучасній біології та медицині. Інтерес до гіпоксії, як типовому патологічному процесу, що виникає і супроводжує тварин і людей протягом усього життя, існує вже сотні років. Слід зазначити, що рішення проблеми старіння, стресових навантажень, працездатності, загальної стійкості організму пов'язане з усуненням гіпоксичних станів і їх наслідків, зі зниженням чутливості організму до цих станів [6, 7].

Організм людини щодня відчуває вплив фізіологічної гіпоксії, яка може формуватися, наприклад, в скелетних м'язах при інтенсивній м'язовій роботі, в нервовій тканині головного мозку при значній розумовій нарузі, а також у печінці, нирках, органах шлунково-кишкового тракту при надмірному посиленні їх фізіологічної активності [8, 9, 10]. При фізіологічній гіпоксії

зміни активності органів і тканин носять короточасний і зворотній характер. Патологічна гіпоксія, яка викликає розвиток різних порушень у функціонуванні організму, зумовлена впливом декількох факторів, і може бути класифікована на безліч типів.

### **1.1.2 Класифікація гіпоксичних станів**

Доставка кисню в організм залежить від його вмісту у вдихуваному повітрі, дифузії через аерогематичний бар'єр, вентиляції альвеол і кровопостачання їх стінок, швидкості насичення гемоглобіну киснем, форми і положення кривої дисоціації оксигемоглобіну, щільності мережі мікросудин, споживання O<sub>2</sub> клітиною або тканиною і інших чинників. Зміна або порушення будь-яких з цих умов або їх комбінацій може викликати нестачу кисню в тканинах і стати причиною енергодефіциту [11,12]. В тих випадках, коли потреба окремих тканин або організму в цілому не задовольняється киснем, в тканинах знижується PO<sub>2</sub> і розвивається киснева недостатність - гіпоксія.

Класифікація гіпоксії заснована на її поліетіологічності. В даний час існує декілька класифікацій гіпоксичних станів в залежності від джерела дефіциту O<sub>2</sub>, проте слід зазначити, що ключовими особливостями гіпоксії, незалежно від її походження, є недостатність біологічного окислення в процесі утворення енергії. Одну з перших класифікацій гіпоксії запропонував J. Barcroft у 1920 [13], вона ґрунтувалася на зміні властивостей і структури гемоглобіну. Потім М.М. Сиротиніним у 1939 [14] була створена етіопатогенетична класифікація. У 1941 р К. Віггера запропонував розрізняти два стани - гіпоксію (зниження вмісту кисню у вдихуваному повітрі) і аноксію (надзвичайно низька напруга O<sub>2</sub> - менше 80 мм рт.ст.) [15]. Великою популярністю довгий час також користувалася запропонована JP Peters і DD van Slyke (1932) і доповнена М. М. Сиротиніним класифікація, прийнята на конференції в Києві в 1949 р.: гіпоксичні стани розділили на 4 типи

(гіпоксична гіпоксія, гемічна гіпоксія, циркуляторна гіпоксія і тканинна гіпоксія) [16]. Ці класифікації були побудовані на єдиному принципі, однак не враховували зовнішні екологічні чинники антропогенного походження і не всі патологічні процеси (Колчинская А.З., 1964) [17].

В даний час в Україні прийнята класифікація типів гіпоксичних станів, яка затверджена на нараді за проблемою “Спеціальна і клінічна фізіологія гіпоксичних станів, яка відбулася в Києві (жовтень 1979 р.).

Визначені наступні типи гіпоксичних станів:

- Гіпоксична гіпоксія - виникає при зниженні атмосферного  $PO_2$  (в горах, у випадку розгерметизації повітряного судна, при вдихуванні газової суміші з низькою концентрацією або зниженим тиском  $O_2$ ).
- Дихальна або респіраторна гіпоксія - розвивається в результаті порушення функції зовнішнього дихання. При першому і другому типах розвивається артеріальна гіпоксемія- зниження оксигенації  $PO_2$  артеріальної крові.
- Циркуляторна гіпоксія - коли причиною нестачі необхідної кількості кисню в місцях його споживання є затруднення кровопостачання.
- Гемічна (кров'яна) гіпоксія - виникає при зниженні гемоглобіну, крововтраті (анемічна форма), а також коли гемоглобін частково або повністю заблоковано.
- Тканинна гіпоксія- коли постачання кисню не страждає, але умови його споживання не задовільні.
- Гіпоксія навантаження - коли кисневий запит не задовільняється в результаті інтенсифікації функціонування тканини, органу або організму в цілому. При цьому навіть при підвищеній швидкості постачання киснем, тканине  $PO_2$  зменшується до критичних значень і споживання кисню страждає. Прикладом виникнення такого типу гіпоксії є м'язова діяльність.

В 2003 р. Н.А. Аджаняном і А.Я. Чиковим також була запропонована класифікація гіпоксії. Відповідно до цієї класифікації розрізняють 3 види

гіпоксії: екзогенна, ендогенна і тканинна (біоенергетична). Екзогенна гіпоксія розвивається в результаті дії різних факторів зовнішнього середовища, ендогенна - при фізіологічних і патологічних змінах в функціональних системах організму. Біоенергетична (тканинна) гіпоксія є кінцевою ланкою будь-якого виду гіпоксії і виникає при порушеннях здатності тканин утилізувати кисень крові.

Патогенетичною основою розвитку гіпоксії екзогенного типу є артеріальна гіпоксемія, а іноді і гіпокапнія, що утворюється в результаті компенсаторної гіпервентиляції легень, що призводить до порушень кислотно-лужного балансу і розвитку газового алкалозу.

Ендогенна гіпоксія розвивається при порушенні доставки кисню і його утилізації тканинами організму. Такі гіпоксії класифікують за етіологічним фактором на фізіологічну, респіраторну, гемічну, циркуляторну (серцево-судинну), гіперметаболічну. Цитотоксична (тканинна, біоенергетична) гіпоксія виникає внаслідок порушення утилізації тканинами кисню при зниженні активності ферментів дихального ланцюга [18]. Даний вид є кінцевим етапом всіх різновидів гіпоксії.

Також за швидкістю розвитку гіпоксію ділять на [19]:

- блискавичну (швидка втрата свідомості і припинення життєво важливих функцій організму, відбувається при повній відсутності O<sub>2</sub> протягом декількох десятків секунд);

- гостру, при якій гіпоксичні прояви виникають протягом декількох хвилин. До такої гіпоксії умовно відносять всі випадки значного і швидкого зниження PO<sub>2</sub> в навколишньому газовому середовищі, в результаті якого через відносно невеликий термін у здорових, але раніше не адаптованих до гіпоксії людей виникають патологічні стани різної тяжкості. Такі ситуації спостерігаються на висотах 4000-5000 м і вище після швидких підйомів або після раптового припинення подачі O<sub>2</sub> під час висотних польотів.

Також виділяють підгостру гіпоксію, що діє протягом декількох годин, і хронічну, коли організм дні, місяці або роки знаходиться в умовах дефіциту кисню.

У біомедичних дослідженнях зазвичай моделюються кілька видів гіпоксії: гіпобарична (пов'язана зі зміною барометричного тиску повітря); нормобарична (пов'язана зі зниженням процентного вмісту O<sub>2</sub> в повітрі за рахунок зміни його газового складу при нормальному тиску), ізоляційна гіперкапнічна (пов'язана зі зниженням вмісту кисню в рециркулюючій повітряній суміші через його поглинання при диханні і з підвищенням парціального тиску CO<sub>2</sub> за рахунок накопичення у повітрі), анемічна (викликана масивною кровотечею) і цитотоксична (пов'язана з блокадою роботи цитохромового каскаду перенесення електронів).

Виділення окремих типів гіпоксії вельми умовно, оскільки будь-який гіпоксичний стан - складний комплекс відповідних реакцій на гіпоксичний стимул, в який включені всі функціональні системи організму, і в медицині найбільш часто зустрічаються поєднання різних форм гіпоксії, які формують змішаний тип, який призводить до тяжких наслідків. У кожному конкретному випадку необхідно враховувати вікові, статеві, індивідуальні особливості організму, а також просторово-часові і кліматичні характеристики [19].

Таким чином, реакція організму на гіпоксію є комплексом процесів і залежить від її тривалості і тяжкості, але при різних типах гіпоксії патогенетичні наслідки для органів і систем подібні і залежать від індивідуальної стійкості до дефіциту O<sub>2</sub>. Незалежно від причини, розвиток гіпоксії відбувається наступним чином: зниження вмісту кисню в навколишньому середовищі призводить до зменшення PO<sub>2</sub> в альвеолярному повітрі і артеріальній крові, а при недостатності компенсаторних механізмів - до зниження швидкості перенесення O<sub>2</sub> кров'ю. Зменшення швидкості поетапного перенесення кисню до тканин зумовлює падіння його напруги в крові і тканинах до рівнів нижче критичних, тобто таких, при яких починає

знижуватися швидкість споживання O<sub>2</sub> в тканинах і розвивається вторинна тканинна гіпоксія. Екзогенна гіпобарична гіпоксія, в залежності від ступеня зниження барометричного тиску, може призводити до порушень функціональних систем організму різного ступеня.

### **1.1.3 Метаболічні механізми гіпоксії**

Дослідженню механізмів гіпоксії присвячена велика кількість робіт, описано її вплив на різні системи і органи: головний мозок, серце, легені, нирки та інші [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27].

Головною ланкою при кисневому голодуванні тканин будь-якої природи є дефіцит енергії в клітинах. В основі енергозабезпечення клітин лежить тканинне дихання, що відбувається на внутрішній мембрані мітохондрій і полягає в багатоетапному перенесенні електронів від субстрату до кисню, який відновлюється до води. Одночасно транспортуються протони, що сприяє формуванню різниці потенціалів на мембрані і синтезу АТФ (окисне фосфорилування). Таким чином, мітохондрії є головною мішенню гіпоксії в клітинах, оскільки їх цитохромоксидаза забезпечує відновлення більше 90% всього споживаного O<sub>2</sub> в організмі людини [28, 29]. Дефіцит кисню - акцептора електронів в дихальному ланцюзі, призводить до глибокого пригнічення біоенергетичної функції мітохондрій. Недостатність систем енергоутворення в клітині становить патогенетичну ланку багатьох захворювань. Підтримка життєдіяльності в екстремальних умовах можлива до тих пір, поки дефіцит енергії не досягне критичних величин. Виснаження енергетичних резервів нижче допустимого рівня супроводжується розвитком незворотних процесів в клітині і загибеллю організму [30, 31, 32].

Нестача кисню, блокада дихального ланцюга і роз'єднання окисного фосфорилування призводять до формування дефіциту АТФ і креатинфосфату. Як компенсаторний механізм індукується гліколіз, однак це не ліквідує виникнення енергетичного дефіциту. Активація гліколізу - тимчасовий



процес, який припиняється в зв'язку з накопиченням лактату і зниженням рН. Відповідно, нестача АТФ набуває більш виражений і прогресуючий характер [33, 34].

Крім пригнічення гліколізу після його тимчасової активації в клітині відбувається інгібування і інших метаболічних шляхів через накопичення в мітохондріях відновлених кофакторів (НАДН і ФАДН), оскільки їх перехід в окислені форму (НАД і ФАД) в умовах блокади транспорту електронів в дихальному ланцюгу виявляється неможливим. Зниження вмісту окислених форм даних кофакторів визначає пригнічення активності мітохондріальних дегідрогеназ, що гальмує цикл трикарбонових кислот і  $\beta$ -окислення жирних кислот [35].

Ці процеси призводять до порушень мембранного транспорту, процесів біосинтезу, надлишку кальцію в клітині, що представляє для неї загрозу і розглядається як один з ключових механізмів клітинної загибелі [36, 37]. Патогенетичні наслідки вираженого надлишку кальцію в цитоплазмі виявляються пошкодженням клітинних мембран, яке регулюється різними механізмами, зокрема, активацією перекисного окислення ліпідів (ПОЛ), ініційованого накопиченням в гіпоксичній клітині активних форм кисню (АФК). Генерація АФК відбувається через кальцій-залежне ушкодження мітохондрій і формування надлишку донорів електронів - відновлених кофакторів. Таким чином, шкідлива дія гіпоксії посилюється лавиноподібним накопиченням недоокислених продуктів з появою високотоксичних вільних радикалів. Продукти ПОЛ, руйнуючи мембрани (в тому числі - мітохондріальні), посилюють порушення енергетичного обміну, створюючи тим самим порочне коло гіпоксичного пошкодження [38, 39, 40].

Ініційовані активними формами кисню вільнорадикальні реакції призводять до пошкодження клітинних і субклітинних структур, включаючи мітохондрії, молекули ДНК і білки. Активація ПОЛ призводить до дезорганізації ліпідного бішару мембран, що характеризується наростаючою

втратою їх бар'єрної і матричної функцій, аж до руйнування лізосом, і визначає перехід оборотних змін в клітині в незворотні [41]. Одним з маркерів окисного стресу є ізомер простагландину F<sub>2</sub> - 8-ізопростан, утворення якого відбувається при гіпоксії і вільнорадикальному окисленні фосфоліпідів клітинних мембран [42]. Будучи продуктом метаболізму арахідонової кислоти, 8-ізопростан може служити надійним маркером рівня окисного стресу в організмі. Його зміст підвищується при різних захворюваннях, пов'язаних з окислювальним пошкодженням. Далі формуються порушення клітинних структур, що безпосередньо призводять до загибелі клітини і розвитку ушкодження тканин і органів [43].

Таким чином, гіпоксія, незалежно від механізмів її розвитку, забезпечує запуск каскаду послідовних реакцій: 1) зменшення вмісту O<sub>2</sub> в тканинах; 2) зниження внутрішньоклітинного АТФ і формування енергодефіциту; 3) інгібування основних метаболічних шляхів, збільшення вмісту внутрішньоклітинного кальцію; 4) активацію мембранних фосфоліпаз і ПОЛ; 5) зниження електричної стабільності мембран; 6) збільшення іонної проникності мембран; 7) роз'єднання тканинного дихання і фосфорилування; 8) загибель клітин від нестачі енергії [44, 45, 46]. Центральною ланкою патогенезу цих процесів є підвищення внутрішньоклітинної концентрації іонів кальцію, а головною мішенню - клітинні мембрани і мітохондрії [47]. Послідовність цих змін при гіпоксії однакова для різних тканин. Різниця полягає лише в швидкості протікання цих процесів: з найбільшою швидкістю вони відбуваються в тканині мозку, з меншою - в печінці, з ще більш низькою швидкістю - в м'язовій тканині. Ступінь пошкодження мітохондріального метаболізму в умовах вираженої гіпоксії визначає тяжкість багатьох патологічних станів, і може призводити до загибелі організму [48].

Для корекції доставки O<sub>2</sub> тканинам і його утилізації клітинами організму в умовах його дефіциту, застосовують антигіпоксанти - лікарські засоби, основні ефекти і механізми дії яких спрямовані на підвищення

переносимості гіпоксії. При цьому в організмі існують механізми, що сприяють пристосуванню до кисневої недостатності різного ступеня вираженості і тривалості.

Адаптація до нестачі кисню і поживних речовин - еволюційно консервативний процес. Рівні O<sub>2</sub> в організмі постійно контролюються системою рецепторів газового складу, у відповідь на зміну умов відбувається перепрограмування експресії генів таким чином, що активуються гени адаптації. У 1995 р GL Semenza і GL Wang відкрили індукований гіпоксією фактор HIF (Hypoxia-Inducible Factor), який регулює відповідь на недолік кисню [49].

#### **1.1.4 Молекулярні механізми гіпоксії**

Адаптація - процес придбання пристосувальної витривалості [50]. Його результатом є адаптованість, під якою розуміється стан, що виражається в здатності організму до виживання і відтворення в нових екологічних умовах. Адапованість виникає на основі функціональних перебудов організму з використанням його пластичних і енергетичних ресурсів, а також подальшою реорганізацією в тканинних, клітинних і молекулярних структурах [51, 52]. Таким чином, адаптованість до екстремальних умов досягається ціною певних ушкоджень на всіх рівнях організації організму.

Вплив збідненого киснем середовища запускає безліч фізіологічних і біохімічних реакцій, які, перш за все, сприяють підвищенню ефективності дихальної, серцево-судинної систем і системи утилізації O<sub>2</sub>. Адаптація до висоти може викликати негайні ефекти, такі як гіпервентиляція, втрата рідини, збільшення ЧСС і, в меншій мірі, зменшення УО крові [53, 54]. У свою чергу, тривалі ефекти включають компенсаторне збільшення гематокриту (поліцитемія), підвищення щільності капілярів в скелетній м'язовій тканині, збільшення кількості міоглобіну і гіпоксичну легеневу вазоконстрикцію [55].

Зі збільшенням висоти спостерігається прогресуюча гіпервентиляція, яка веде до надмірного видалення з організму CO<sub>2</sub>, що викликає гіпокапнію, яка, в свою чергу, може призводити до вазоконстрикції для протидії збільшеному току крові [56]. Хоча за рахунок задишки відбувається поліпшення оксигенації артеріальної крові, в подальшому, в зв'язку з розвитком гіпокапнії, відбувається погіршення кисневого забезпечення мозку і міокарда через спазм їх судин, розвитку алкалозу і викликаного цим пригнічення дихального центру. Цей комплекс вазорегуляторних взаємодій пояснює різні симптоми, що виникають при гострій гіпоксії, такі як головний біль, втрата свідомості, гостра гірська хвороба, високогірний набряк мозку, особливо у людей з деякими захворюваннями [57].

Адаптивна клітинна відповідь на недолік O<sub>2</sub> відбувається після транскрипційної активації контрольованих димером HIF-1 $\alpha$  /  $\beta$  генів [58]. Наприклад, гіпоксія збільшує експресію еритропоетину, який є одним з основних стимуляторів продукції еритроцитів і в гені якого у людини були вперше виявлені у відповідь на гіпоксію елементи (HREs) [59]. У нормі еритропоез протікає на низькому базальному рівні і забезпечує компенсацію загибелі старих еритроцитів. Однак при збільшенні пошкодження еритроцитів в таких патологічних умовах, як гіпоксія, анемії і кровотечі, продукція еритропоетину підвищується в 1000 разів, що стимулює утворення еритроцитів, які збільшують доставку O<sub>2</sub> до тканин [60].

Елементи відповідності на гіпоксію (HREs) також були знайдені більш ніж в 1000 генах, які активуються нестачею кисню, залучених в ангиогенез, еритропоез, метаболізм, аутофагію, апоптоз та інші фізіологічні реакції на гіпоксію [60]. Продукти регульованих HIF-1 генів-мішеней діють на різних функціональних рівнях. Кінцевим результатом їх активації є збільшення надходження O<sub>2</sub> в клітину [61].

HIF-1 прямо або опосередковано регулює більш ніж 2% генів в клітинах судинного ендотелію (Manalo DJ et al., 2005). В умовах гіпоксії накопичення

HIF-1 прямо активує транскрипцію VEGF через зв'язування з HREs [62]. Ініційований гіпоксією і HIF-1 ангиогенез - перш за все VEGF-залежний, так як в ньому беруть участь основні ізоформи фактора росту судинного ендотелію (VEGF-A, VEGF-B, VEGF-C і VEGF-D). У дослідженнях останніх років показано, що гіпоксія і експресія HIF-1 грають ключову роль в ангиогенезі, і сприяють йому декількома шляхами: в першу чергу, через активацію транскрипції генів, кодують ангиогенні фактори, що включають VEGF, ангиопоетина 1 і 2, фактор росту плаценти (Placental Growth Factor - PGF) і фактор росту тромбоцитів В (Platelet-Derived Growth Factor В - PDGFB) [63]. Крім того, нестача O<sub>2</sub> стимулює синтез і активацію проангиогенних хемокінів (SDF-1 $\alpha$ , CXCR4, CXCL12), що сприяє міграції попередників клітин ендотелію в зону гіпоксії [64]. Також при дефіциті кисню відбувається посилення проліферації клітин за рахунок регуляції генів, залучених в клітинний цикл і реплікацію ДНК [65]. Таким чином, HIF-1 контролює ангиогенез і бере участь в кожному його етапі.

Низькі рівні O<sub>2</sub> впливають на метаболізм глюкози в клітинах [1]. HIF регулює більшість генів гліколітичних ферментів, таких як глюкозний переносник 1 GLUT1 (Glucose Transporter 1), активація якого може сприяти підвищенню проліферації клітин в пухлинах [66]. В умовах нормоксії більшість клітин продукують АТФ за допомогою окисного фосфорилування. При низькому вмісті кисню HIF-1 регулює перехід на гліколіз і анаеробний метаболізм, а також пригнічує споживання O<sub>2</sub> мітохондріями [67]. В умовах гіпоксії клітини генерують лише 2 молекули АТФ через незалежний від O<sub>2</sub> гліколіз замість 38 молекул АТФ через кисень залежний цикл трикарбонових кислот в нормоксічних умовах. Для підтримки енергетичного балансу в умовах гіпоксії здатність клітин продукувати АТФ збільшується за рахунок посилення експресії гліколітичних ферментів і транспортерів, що сприяє більшому поглинанню глюкози [68].

Роль HIF-1 в механізмах клітинної загибелі суперечлива: він може запускати апоптоз [69], запобігати загибель клітин або стимулювати їх проліферацію [70]. Визначальним фактором при цьому є концентрація кисню: при 0-0,5% O<sub>2</sub> індукується апоптоз, в той час як при більш високому його вмісті загибель не відбувається. Більш того, виживання і проліферація клітин може посилюватися в умовах гіпоксії, оскільки активація HIF-1 збільшує експресію таких факторів, як інсуліно-подібний фактор росту 2 - IGF-2 (Insulin-Like Growth Factor-2) і TGF- $\beta$  [71]. У нормальних клітинах TGF- $\beta$  розглядається як обмежуючий їх ріст фактор, проте в пухлинах він, навпаки, сприяє їх росту [72].

HIF-1 і HIF-2 часто діють односпрямовано, наприклад, вони обидва здатні активувати VEGF-A. Однак вони можуть мати і антагоністичні ефекти в різних фізіологічних процесах (наприклад, ембріональний розвиток) і по-різному функціонувати в патофізіологічних умовах, таких як пухлини і ішемічні хвороби [73]. Наприклад, HIF-1 $\alpha$  сприяє зупинці клітинного циклу, в той час як HIF-2 $\alpha$ , навпаки, забезпечує його прогресію. У мишачих макрофагах, кератиноцитах та ендотеліальних клітинах, HIF-1 $\alpha$  запускає продукцію NO через активацію гена індукованої NO-синтази (NOS2), в той час як HIF-2 $\alpha$  відносно пригнічує продукцію NO через індукцію гена аргінази.

Таким чином, киснева недостатність сприяє активації безлічі генів, впершу чергу, еритропоезу і ангиогенезу, а також метаболізму заліза, глюкозних переносників і апоптозу. Активація HIF є ключовою подією, що змінює метаболізм клітин і сприяє переходу з окисного форфорілювання на гліколіз.

### **1.1.5 Стійкість організму до гіпоксії**

Крім індивідуальних особливостей, на стійкість до гіпоксії можуть впливати різні чинники. Вони викликають у деяких людей, що знаходяться на рівні моря, реакцію, яка відповідає перебуванню на фізіологічній висоті. До таких факторів належить анемія (анемічна гіпоксія), куріння і споживання

алкоголю, які призводять до підвищення базальних рівнів карбоксигемоглобіна і гістотоксичної гіпоксії [74]. Існують також вікові, статеві та індивідуально-типологічні особливості стійкості до кисневої недостатності у людей [75].

Крім цього, такі фактори можуть впливати на відповідь організму при зміні висоти, прийомі ліків, таких як: аспірин, нітриту, сульфати; наявність хронічної обструктивної хвороби легень, емоційний статус, вихідний рівень метаболізму, температура тіла (так, висока температура сприяє меншому насиченню гемоглобіну киснем), високий або низький рН (низький рН погіршує зв'язування гемоглобіну з киснем, обмежую встановлення більш високого  $PO_2$ ).

Одним з важливих, але не до кінця вивчених факторів, що впливають на стійкість до гіпоксії, є біологічні ритми. Біоритми - періодично повторювані зміни характеру і інтенсивності біологічних процесів та явищ. В даний час загально визнано, що ритмічність біологічних процесів є фундаментальною властивістю всієї живої матерії. Біоритми виявляються на всіх рівнях її організації- молекулярному, клітинному, організменному, популяційному і біосферному [76].

## **1.2 Гіпоксія навантаження**

У процесі фізичного навантаження організм спортсменів і активних людей стикається зі зміною насичення киснем тканин. Гіпоксія, яка виникає внаслідок фізичного навантаження, має свої особливості і може мати значний вплив на фізіологію, функціональність та спортивні досягнення людини [77, 78, 79]. Саме тому дослідження в фізіології гіпоксії навантаження є важливим кроком у розвитку спортивної медицини. Розуміння її механізмів та впливу на фізичну працездатність може допомогти тренерам, фізіологам та спортсменам вдосконалювати тренувальні програми та досягати нових спортивних вершин.

Застосування тренування в умовах гіпоксії може сприяти активізації адаптаційних механізмів організму, таких як збільшення кількості еритроцитів, збільшення мітохондрій та капіляризації м'язів [80, 81, 82]. Ці адаптації можуть поліпшити транспорт та використання кисню в організмі, що потенційно призводить до покращення фізичних показників та спортивних результатів [83, 84, 85]. Однак, важливо враховувати, що некомпенсована гіпоксія навантаження [86] не є безпечним або безумовно корисним підходом до тренувань. Вона є ризиком пошкодження тканин, перенапруження серцево-судинної системи та зниження імунітету. Тому необхідно ретельно оцінювати індивідуальні особливості спортсменів, проводити медичний огляд та врахувати рекомендації фахівців.

Гіпоксія навантаження може бути спричинена різними факторами, які впливають на забезпечення киснем організму під час фізичної активності. Основні фактори, що призводять до розвитку гіпоксії навантаження, включають зниження атмосферного тиску, зменшення кисневого перенесення, зниження дифузії кисню, зниження кардіоваскулярної функції, м'язову втому, системні фактори, тривалість та інтенсивність навантаження, а також індивідуальні особливості.

Фізична активність на висоті, де атмосферний тиск нижчий, створює умови для більш швидкого розвитку гіпоксії навантаження. Деякі фактори, такі як низька концентрація гемоглобіну в крові або патологічні зміни у структурі чи функції гемоглобіну, також можуть обмежити здатність до перенесення кисню і спричинити зниження перенесення кисню [87].

Умови надходження кисню до легень, його дифузія через аерогематичний бар'єр та через мембрани клітин можуть бути обмежені в результаті неповного дозрівання КРС, як це може бути в підлітковому віці, що може ускладнити переміщення кисню в організмі та призвести до некомпенсованої стадії гіпоксії навантаження. Недостатність серцево-



судинної системи у підлітків може обмежувати кровопостачання та зв'язану з цим доставку кисню до тканин під час фізичного навантаження.

При розвитку гіпоксії навантаження збільшення накопичення молочної кислоти та інших метаболічних відходів. Деякі системні фактори, такі як знижена ефективність дихальної системи, зміни в кровообігу або водно-електролітному балансі, також можуть впливати на забезпечення організму киснем під час фізичного навантаження. При цьому значення має тривалість та інтенсивність фізичних навантажень.

Крім фізіологічних факторів, індивідуальні особливості людини також впливають на схильність до гіпоксії навантаження. Рівень фізичної підготовки, генетичні фактори та стан здоров'я кожної людини можуть відрізнятися і мати вплив на спроможність організму адаптуватися до достатнього забезпечення киснем [88, 89, 90]. Розуміння цих факторів та їх взаємозв'язку у підлітків може дозволити глибше охарактеризувати розвиток гіпоксії навантаження та розробити ефективні стратегії для оптимізації фізичних тренувань та збереженню здоров'я.

Гіпоксія навантаження може призвести до розширення і розвитку механізмів споживання кисню, що позитивно буде впливати на ефективність м'язової діяльності. Крім фізичних аспектів, гіпоксія навантаження також може впливати на психічний стан та сприйняття зусиль під час фізичної активності [91, 92]. Відчуття нестачі кисню та втоми можуть змінювати на мотивацію та настрій спортсменів, що до збільшення здатності до подальшого зусилля.

Проведені дослідження з проблеми розвитку і компенсації гіпоксії навантаження у підлітків сприятимуть розумінню механізмів адаптації організму до різних умов забезпечення киснем та допоможуть розробити оптимальні підходи до раціональної побудови тренувань. Детальне вивчення цього аспекту дозволить також прослідити як потенціал гіпоксії навантаження

впливає на фізичну працездатність, і сприятиме розробці нових стратегій для розвитку загального та оздоровчого спорту.

### **1. 3 Особливості кардіореспіраторної системи у підлітків**

#### **1.3.1 Особливості системи крові та кровообігу у підлітків**

Протягом середнього і старшого шкільного віку у підлітків збільшується кількість еритроцитів і гемоглобіну, знижується кількість лейкоцитів, в лейкоцитарній формулі триває зниження числа лімфоцитів і зростання кількості сегментованих нейтрофілів.

До віку 14 - 16 років картина крові практично вже відповідає дорослому організму. Однак ще зустрічається багато незрілих форм лейкоцитів. Швидкість осідання еритроцитів досягає дорослого значення 8-10 мм / год.

В середньому і старшому шкільному віці повністю формується система кровообігу. Зростає маса і об'єм серця. Маса серця в порівнянні з новонародженим збільшується до 10 років в 6 разів, а до 16 років – в 11 разів. За винятком періоду 12 - 13 років, маса серця у хлопчиків перевищує аналогічні показники дівчат. Зростання маси серця відбувається з деяким відставанням від зростання маси тіла. Особливо великий річний приріст маси серцевого м'яза після 14 років.

Обсяг серця досягає 130 - 150 мл ( у дорослих – 280 мл), а ХОК – 3 - 4 л / хв (у дорослих – 5 - 6 л / хв). Він збільшується, головним чином, за рахунок збільшеного УО, який за період від 10 до 17 років наростає від 46 мл до 60-70 мл. За рахунок збільшення об'єму крові і підвищення тону парасимпатичного відділу нервової системи відбувається подальше зниження ЧСС: в середньому шкільному віці вона в спокої близько 80 скор./хв, а в старшому шкільному віці (16 - 18 років) відповідає дорослому рівню – 70 скор./хв. У підлітків до 14 років ще значно виражена дихальна аритмія, яка після 15 - 16 років практично зникає. З віковим розвитком у підлітків провідної

системи серця характеристика структури ЕКГ наближається до показників дорослого організму.

У зв'язку з тим, що серце викидає за одне скорочення більший об'єм крові, зростає величина артеріального тиску. У хлопчиків в 11 років АТ = 104/61, в 12 років – 108/65, в 13 років – 112/65, в 14 років – 115/66, в 15 років – 120/68, в 16 років – 125/73, в 17 років – 125/73 мм. рт. ст. [93]. У дівчат після 13 років ці показники на 2 - 5 мм. рт. ст. нижче.

Максимальний систолічний АТ збільшується в більшій мірі, ніж максимальний діастолічний, тому зростає їх різниця, тобто пульсовий тиск. Такі зміни свідчать про покращене кровопостачання різних органів тіла.

Зростання просвіту судин в перехідний період (13 - 14 років) відстає від збільшення скорочувальної сили міокарда. Це викликає в ряді випадків явища юнацької гіпертонії – підвищення систолічного АТ до 140 мм. рт. ст. і вище.

В результаті змін ЧСС і збільшення довжини судин, особливо у високорослих підлітків і юнаків, відбувається уповільнення кругообігу. Час повного кругообігу крові у дошкільнят відбувається за 14 с, у молодших школярів за 16 с, в середньому шкільному віці за 18 с, а у старших школярів досягає дорослих значень – 20 - 22 с.

У цілому зміни, що відбуваються в серцево-судинній системі (зменшення ЧСС, подовження періоду загальної діастолі, підвищення АТ, уповільнення кругообігу крові) свідчать про економізацію функцій серця.

### **1.3.2 Особливості системи дихання у підлітків**

З віком спостерігається вдосконалення системи дихання. Збільшується тривалість дихального циклу, а також підвищується швидкість вдиху і видиху, особливо тривалість видиху. Дихальний центр стає менш чутливим до недостатці кисню і надлишку вуглекислого газу. Удосконалюється регуляція дихання, в тому числі довільна регуляція при здійсненні мовної функції. Економізуються дихальні реакції на навантаження.

Зростає ДО і, відповідно, зменшується ЧД за одну хвилину. У дітей дошкільного та молодшого шкільного віку легенева вентиляція наростає переважно за рахунок збільшення ЧД, а у підлітків – за рахунок підвищення глибини дихання, і лише у половини з них при цьому відбувається почастішання дихання. У 12-річному віці частота дихання становить 19 дих.ц./хв, а до 14-річного віку вона наближається до дорослого рівня – 16 - 18 дих.ц./хв. ХОД в 10 років становить близько 4 л /хв, в 14 років – близько 5 л / хв (у дорослих 5 - 8 л / хв). Зміни, що відбуваються, носять прогресивний характер, дозволяючи поліпшити газообмін у легенях, так як при частому і неглибокому диханні, повітря обмінюється переважно в повітроносних шляхах, дуже мало змінюючи склад альвеолярного повітря.

Під час періоду статевого дозрівання можуть виникнути труднощі в розвитку дихальних функцій. Ріст грудної клітки може затримуватись, що при значному витягуванні тіла утруднює дихання у підлітка. Маса легенів в 12 років виявляється в 10 разів більше первинної, але все ж удвічі менше, ніж у дорослих. Підвищення збудливості дихального центру і тимчасові порушення регуляції дихання викликають у підлітків особливу непереносимість кисневого дефіциту [94]. При гіпоксичних станах у них можуть виникати запаморочення і непритомність.

У цей період у підлітків спостерігається неритмічність дихання, незавершений ще процес розширення повітроносних шляхів [93]. Носові ходи у дітей вузькі, їх формування закінчується до 14 - 15 років. Розвиток нових гілок бронхіального дерева помітно посилюється ще до початку пубертатного періоду, прискорюється після його закінчення. Після 11 - 12 років процес розширення бронхів починає переважати над їх ростом. Відбувається бурхливий розвиток альвеол.

Об'єм легень залежить від статевого дозрівання, яке проходять у дівчат раніше, ніж у хлопчиків. ЗЄЛ і ЖЄЛ у 13-річних дівчат складають близько 93% від величин цих об'ємів у 18 - річних дівчат, а у 12 - 13-річних хлопчиків –

лише 73% цих об'ємів у 18-річних юнаків. У хлопчиків ЖЄЛ більше, ніж у дівчат на всіх стадіях статевого розвитку. З невеликими коливаннями ЖЄЛ становить, в старшому шкільному віці – приблизно 3 л, що становить 85-90% дорослих значень.

Щодо величин ЖЄЛ в літературі зазначаються значні відмінності у різних авторів, тому що вона залежить від багатьох факторів: віку і статі, стадії статевого дозрівання, впливів епохальної та індивідуальної акселерації, характеру морфотипу і популяційних особливостей будови тіла, клімато-географічних і соціально-економічних умов життя тощо.

До 16 - 17 років розвиток дихальних функцій в основному завершується. Однак можливості дихальної системи навіть у юнацькому віці виявляються все ще нижче, ніж у дорослому організмі. У 17 - 18-річному віці реакції дихання на навантаження ще менш економічні, недостатня витривалість дихальних м'язів.

Припинення приросту функціональних показників дихання відбуваються в жіночому організмі у віці 17 - 18 років, у чоловічому – у 19 - 20 років [94].

### **Висновки до розділу 1**

В літературі показано, що гіпоксія, незалежно від механізмів її розвитку, запускає каскад таких послідовних реакцій: 1) зменшення вмісту O<sub>2</sub> в тканинах; 2) зниження внутрішньоклітинного АТФ і формування енергодефіциту; 3) інгібування основних метаболічних шляхів, збільшення вмісту внутрішньоклітинного кальцію; 4) активацію мембранних фосфоліпаз і ПОЛ; 5) зниження електричної стабільності мембран; 6) збільшення іонної проникності мембран; 7) роз'єднання тканинного дихання і фосфорилування; 8) загибель клітин від нестачі енергії. При цьому, центральною ланкою патогенезу таких процесів є підвищення внутрішньоклітинної концентрації іонів кальцію, а головною мішенню - клітинні мембрани і мітохондрії

На відміну від інших типів кисневої недостатності, гіпоксія навантаження виникає на фоні значного збільшення постачання кисню до працюючих м'язів, але кисневий запит не задовільняється, що призводить до накопичення молочної кислоти та інших метаболічних відходів. Деякі системні фактори, такі як знижена ефективність дихальної системи, зміни в кровообігу або водно-електролітному балансі також можуть впливати на забезпечення організму киснем під час фізичного навантаження.

Згідно з літературними даними відомо про співвідношення між показниками зовнішнього дихання, кровообігу, дихальної функції крові у підлітків і дорослих різного ступеня фізичної тренуваності. Але дуже мало даних про надходження кисню до легень і альвеол, доставку його тканинам, за рахунок чого досягається адекватність доставки кисню артеріальною кров'ю потребам в ньому тканин, наскільки велика їх здатність утилізувати кисень, що доставляється.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1 Організація дослідження

У дослідженні приймали участь підлітки 13-14 років (16 хлопців), які не займаються спортом та нетреновані дорослі чоловіки 21-28 років (16 осіб), а також 16 юних спортсменів 13-14 років. З метою провести порівняння з дорослими спортсменами, ми провели його на основі даних про дорослих велосипедистів, які наведені в монографії [86]. Всі обстежені нами особи були фізично здорові, але були різного ступеня тренуваності та мали неоднаковий спортивний розряд. Всі випробувані були поділені на "тренуваних" та "нетренованих". Дані про групи представлені у табл. 2.1.

**Таблиця 2.1** – Характеристики досліджуваних груп

| Вікові групи |                                  | Нетреновані підлітки                   | Нетреновані чоловіки  |                    | Юні велосипедисти     |                    |
|--------------|----------------------------------|--|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| Параметри    | № схеми виконання навантаження   | 1                                      | 1                     | 2                  | 1                     | 2                  |
|              | Кількість досліджуваних в групі  | 16                                     | 16                    | 4                  | 16                    | 4                  |
|              | Вік                              | 13-14 років                            | 21-28 років           |                    | 13-14 років           |                    |
|              | Маса тіла (кг)                   | $\bar{x}$<br>2,48<br>$m \pm s$<br>7,03 | 72,9<br>1,74<br>5,78  | 71,3<br>(67-76)    | 65,1<br>1,02<br>3,52  | 67,0<br>(60-74)    |
|              | Довжина тіла (см)                | $\bar{x}$<br>1,87<br>$m \pm s$<br>5,31 | 176,7<br>0,88<br>2,77 | 177,3<br>(176-180) | 176,5<br>0,76<br>2,63 | 178,0<br>(175-182) |
|              | Поверхня тіла (м <sup>3</sup> )* | 1,66                                   | 1,90                  | 1,88               | 1,81                  | 1,84               |

**Примітка.\*** – розрахунок поверхні тіла рахувався по формулі Дю-Бау. В дужках вказані максимальні та мінімальні межі коливання.

Усього проведено 682 обстеження, з них у 596 визначалися КТФК та РМК (76 у стані відносного спокою, 198 у динаміці м'язової діяльності, 148 у найближчий відновлювальний період після навантажень). 16 досліджень присвячено вивченню коефіцієнта корисної дії (ККД) при фіксованих навантаженнях різної потужності. Всі обстежені підлітки і дорослі дали добровільну згоду на участь у дослідженнях з виконанням тестових навантажень.

Реєстрація всіх параметрів в дослідженнях, проведених зі ступінчатим підвищенням навантаження, проходила за наступною схемою: спокій сидячи на велоергометрі до навантаження; під час роботи між 2-ою та 3-ою хвилинами кожної сходинки; в процесі відновлення на першій, третій, десятій та п'ятнадцятій хвилинах.

При обстеженні нетренованих підлітків та чоловіків, а також юних спортсменів застосовувалися навантаження на велоергометрі, характеристики яких надані на схемах 1 та 2 (рис. 2.1). У зв'язку з тим, що потужність виконуваної роботи в схемі 1 для нетренованих підлітків виявилася непосильною, вони обстежувалися тільки за схемою 2.

Крім порівняння отриманих результатів при роботі однакової потужності, проводилося порівняння на однакових рівнях споживання кисню відносно відсотків МСК.

В якості досліджуваних спортсменів були юні велосипедисти, члени дитячо-юнацької спортивної школи "Голосієво".

Також для оцінки фізичної працездатності ми використовували метод PWC 170. Він є одним із методів оцінки аеробної потужності та фізичної працездатності людини і визначає можливу потужність роботи при пульсі 170 скор./хв [98].



Схема № 1

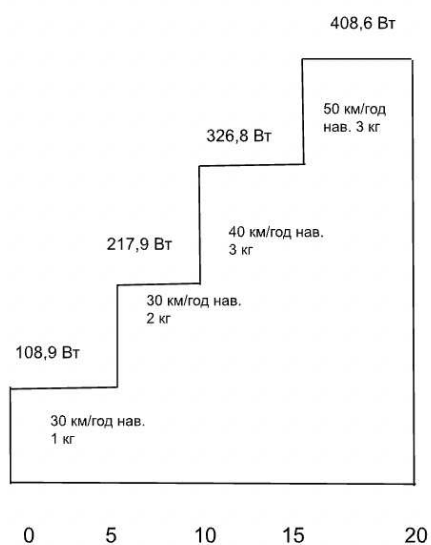


Схема № 2

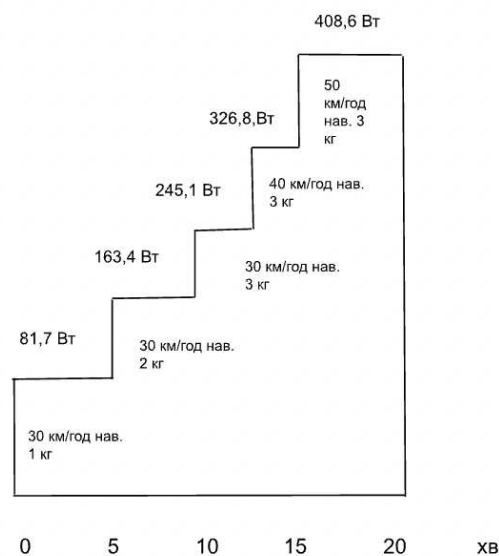


Рисунок 2.1 – Схеми виконання роботи на велоергометрі

Також було проведено обстеження 14 здорових дівчат 14-16 років (II та III фази менструального циклу) та 12 дівчат 14-16 років, які страждали ювенільними порушеннями становлення менструальної функції, які супроводжувались зниженням КЄК. Це дало змогу оцінити роль різного вмісту гемоглобіну в крові у регуляції процесу масопереносу кисню кров'ю, утилізації його тканинами, у розвитку тканинної гіпоксії при м'язовій діяльності. Робота виконувалася дівчатами обох груп при потужності  $\sim 50$  Вт протягом 5 хв при підйомі на сходинку висотою 45 см, інтенсивність навантаження була невисокою (приблизно 35-50% МСК). Усі дослідження було проведено в кардіоцентрі "Дім серця", що знаходиться в клінічному санаторії Жовтень м. Київ.

## **2.2 Методичні підходи до проведення дослідження**

### **2.2.1 Методи досліджень**

Для досягнення визначеної мети дисертаційної роботи використовувалися різноманітні методи дослідження, включаючи:

- проведення теоретичного аналізу та узагальнення наукової літератури, яка стосується даної проблеми, як на вітчизняному, так і на міжнародному рівні;
- використання антропометрії та ергометрії;
- застосування газоаналітичних методів для оцінки фізичної працездатності;
- проведення тестів для визначення рівня фізичної підготовленості;
- використання методів математичної статистики для обробки отриманих даних.

Ці різноманітні методи дослідження дозволили отримати широкий обсяг інформації та забезпечити наукову обґрунтованість і достовірність результатів дослідження.

### **2.2.2 Аналіз наукової і науково-методичної літератури**

Шляхом вивчення літературних джерел та узагальнення даних з спеціальної літератури було сформовано загальне уявлення про об'єкт дослідження, встановлено ступінь актуальності проблеми та перспективність досліджуваної теми.

Аналіз літературних джерел дозволив детально вивчити проблему та використати отримані дані під час підготовки вступу, огляду літератури та розділу, присвяченого вибору та опису методів дослідження та при обговоренні отриманих результатів.

Також, було проведено аналіз інформаційних ресурсів для знаходження наукової літератури та статей. Серед них: ubMed, Google Scholar, ScienceDirect

та JSTOR. Ці ресурси надають доступ до широкого спектру наукових статей з різних галузей знань.

### **2.2.3 Метод антропометрії**

Антропометрія включала вимірювання різних параметрів тіла, таких як довжина, маса, окружність, ширина і товщина окремих частин тіла.

Для дослідження довжини тіла був використаний антропометр Мартина, який є спеціалізованим приладом для точного визначення довжини різних сегментів тіла [95].

Для вимірювання маси тіла були використані ваги TANITA HD - 326, вони є надійним та точним інструментами, який дозволяє виміряти масу тіла з високою точністю.

### **2.2.4 Метод спірометрії**

Для аналізу функції зовнішнього дихання і стану легень людини використовували метод спірометрії. Здійснювали вимір таких об'ємних і швидкісних показників дихання:

- дихальний об'єм легень;
- резервні об'єми вдиху і видиху;
- життєву ємність легень.

Ми використовували обладнання Охусон Про (корпорація VIASYS Healthcare, США-Німеччина, Erich Jaeger), з допомогою якого визначали не тільки спірометричні показники, але і отримували дані про газоаналіз вдихуваного, видихуваного та альвеолярного повітря. У комплексі використано об'ємний цифровий високочастотний сенсор дихання турбінного типу з невеликим мертвим простором, що має незначний опір (менше 0,1 кПа/л/с при 15 л·с<sup>-1</sup>) і не обмежує потік повітря (0 – 15 л·с<sup>-1</sup>) у всьому діапазоні фізіологічно актуальних значень. Високошвидкісний датчик аналізатора кисню диференційно-парамагнітного типу, діапазон вимірювань 0–100 об. %, точність 0,05 %, постійна часу T<sub>90</sub> ≤ 40 мс. Аналізатор –

високошвидкісний датчик поглинання в інфрачервоній області, діапазон вимірювань 0–15 об. %, точність 0,05 %, постійна часу  $T_{90} \leq 40$  мс.

У діагностичній ергоспірометричній системі є програми вимірів: СРЕТ, спірометрії (Spirometry/Flow-Volume), «вдих за вдихом» («Breath-by-Breath»), усередині дихального циклу («Intra-Breath»), ЕКГ-стрес (ECG) тощо.

### 2.2.5 Методи визначення параметрів серцево-судинної системи

Для дослідження динаміки змін ЧСС при виконанні роботи ми використовували комп'ютерний електрокардіографічний комплекс CARDIOTEST (DX-системи, Україна). Принцип його роботи полягає у реєстрації біоелектричних потенціалів серця за стандартними відведеннями з подальшим їх посиленням, перетворенням у цифровий код та передачею на комп'ютер для подальшої обробки, зберігання й аналізу.

Проводили виміри АТ в стані спокою та при фізичному навантаженні. Також розраховували ХОК за формулою Старра [96].

### 2.2.6 Визначення кисневозв'язувальних властивостей крові

Для визначення КЗВК застосовували такий логарифм розрахунків. Розраховували кисневу ємність крові (КЕК) за концентрацією гемоглобіну (Hb), про яку ми дізнавались з медичної картки досліджуваних та використовуючи константу Гюфнера. Далі ми визначали насичення киснем крові ( $S_aO_2$ ) за допомогою оксиметра (Pulse Oximeter LK88). Вміст кисню в артеріальній крові ( $C_aO_2$ ) розраховували за формулою  $(1,34 \times Hb \times S_aO_2) + (P_aO_2 \times 0,0031)$ . Знаючи  $C_aO_2$  та ХОК отримували величину швидкості транспортування кисню артеріальною кров'ю ( $q_aO_2$ ). Далі віднімаючи від цього значення величину  $q_tO_2$  ми отримували показник  $q_vO_2$ . Отримавши попередні дані, ми ділили  $q_tO_2$  на ХОК та отримували артеріо-венозну різницю концентрації кисню ( $C_{(a-v)}O_2$ ). Для отримання вмісту кисню в змішаній веноній крові ( $q_vO_2$ ) ми від  $C_aO_2$  віднімали  $C_{(a-v)}O_2$ . Маючи КЕК й  $C_vO_2$  ми дізнавались ступінь насиченості киснем змішаної веноній крові ( $S_vO_2$ ).

Використовуючи криву дисоціації оксигемоглобіну та знаючи  $S_aO_2$  ми знаходили значення  $P_aO_2$  та  $P_vO_2$ . Також враховували зміни фактору температури та кислотності середовища згідно з даними літератури стосовно їх змін при фізичному навантаженні різної інтенсивності [97]. Для визначення  $KU_{T}O_2$  використовували відношення  $C_{(a-v)}O_2/C_aO_2$ . ККД розраховували за відношенням значень витраченої енергії згідно  $q_tO_2$  у перерахуванні на калорії і далі на еквіваленти енергії до відповідних цьому значень потужності механічної роботи.

### 2.2.7 Методи математичної обробки результатів

Отримані дані були оброблені відповідно до встановлених методів параметричної та непараметричної статистики. Розрахунки здійснювались на персональному комп'ютері за допомогою ліцензійної програми GraphPadInStat (GraphPad Software, США), а також застосовувалися прикладних пакетів "Microsoft Excel" та "Statistica 6.1". Під час обробки даних проводилися розрахунки середнього арифметичного значення, середнього квадратичного відхилення, коефіцієнта варіації та помилки репрезентативності. Оцінка відповідності показників нормальному розподілу перевірялась за допомогою W-критерію Шапіро-Уїлка. Для встановлення статистичної значимості різниці між показниками вибірок використовувався критерій Стьюдента, якщо розподіл вибірок відповідав нормальному розподілу. У випадку, коли вибірка не мала нормального розподілу, застосовувалися критерії Вілкоксона (для зв'язаних вибірок) та Манна-Уїтні (для незв'язаних вибірок). Рівень надійності встановлювався на рівні  $P=95\%$  (рівень значущості  $p<0,05$ ). Значення  $p < 0,05$  вважались статистично значущими. Розрахунок коефіцієнтів кореляції здійснювався за допомогою інтегрованого статистичного прикладного пакету програм Excel XP.

Оскільки вимірки показників відповідали закону нормального розподілу, що підтверджено критерієм узгодженості Шапіро- Уїлка, ми використовували параметричну статистику.

### РОЗДІЛ 3

## ВІКОВІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЯВУ ГІПОКСІЇ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ ДИНАМІЧНОГО ХАРАКТЕРУ

### 3.1 Характеристика умов масопереносу кисню в стані відносного спокою та фізичних навантажень у нетренованих підлітків і чоловіків

Нетреновані підлітки. Як показали проведені дослідження, безпосередньо перед м'язовим навантаженням в стані відносного спокою у нетренованих підлітків  $q_tO_2$  (табл. 3.1) знаходилося в межах  $325,0 \pm 20,2$  мл/хв або  $5,65 \pm 0,25$  мл/хв. $\times$ кг, тобто інтенсивність споживання кисню у підлітків була більш високою, ніж у чоловіків. У підлітків, в більшій мірі була підвищена інтенсивність поетапної доставки кисню. Швидкість транспортування кисню артеріальною кров'ю складала у підлітків  $1228,0 \pm 54,5$  мл/хв ( $25,4 \pm 1,1$  мл/хв. $\times$ кг) та перевищувала швидкість його споживання в  $3,8 \pm 0,18$  разів.  $KU_{T}O_2$  з крові дорівнював  $26,31 \pm 1,28\%$ ,  $S_aO_2$  -  $94,9 \pm 0,22\%$ , КЄК дорівнювала  $19,4 \pm 0,48$  об.%,  $S_{\bar{v}}O_2$  -  $70,2 \pm 1,2\%$ ,  $C_{\bar{v}}O_2$  -  $14,34 \pm 0,4$  об.%,  $C_{(a-\bar{v})}O_2$  -  $5,11 \pm 0,28$  об.%.  $q_{\bar{v}}O_2$  у підлітків складала  $903,8 \pm 47,2$  мл/хв ( $14,6 \pm 1,0$  мл/хв. $\times$ кг), що було більше  $q_tO_2$  в  $2,84 \pm 0,19$  разів. Така швидкість транспортування кисню кров'ю забезпечувалась відносно високим ХОК ( $6329,0 \pm 249$  мл/хв), УО ( $73,4 \pm 4,03$  мл) при ЧСС -  $87,8 \pm 3,72$  скор./хв (табл. 3.2).

**Таблиця 3.1** – Параметри режимів масопереносу кисню в організмі та показників їх економічності та ефективності у нетренованих підлітків (n=16) та чоловіків (n=16) в стані спокою

| Показники<br>Вікові групи | $q_tO_2$ |                       | $q_AO_2$ |                       | $q_aO_2$ |                       | $q_tO_2$ |                       | $q_{\bar{v}}O_2$ |                       |
|---------------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|------------------|-----------------------|
|                           | мл/хв    | мл/хв.<br>$\times$ кг | мл/хв    | мл/хв.<br>$\times$ кг | мл/хв    | мл/хв.<br>$\times$ кг | мл/хв    | мл/хв.<br>$\times$ кг | мл/хв            | мл/хв.<br>$\times$ кг |
| $\bar{x}$                 | 187,1    | 32,6                  | 1384,0   | 25,4                  | 1228,0   | 25,4                  | 325,0    | 5,65                  | 903,8            | 14,6                  |
| $m \pm$                   | 199,7    | 1,99                  | 100,4    | 1,35                  | 54,5     | 1,1                   | 20,2     | 0,25                  | 47,2             | 1,0                   |
| $s$                       | 395,2    | 5,62                  | 283,9    | 3,82                  | 154      | 3,2                   | 57,0     | 0,72                  | 138              | 2,9                   |

## Продовження таблиці 3.1

|          |           |        |      |        |      |       |      |       |      |       |      |
|----------|-----------|--------|------|--------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| ЧОЛОВІКИ | $\bar{x}$ | 1379,0 | 18,9 | 1079,2 | 14,9 | 996,4 | 13,8 | 261,3 | 3,64 | 735,1 | 10,2 |
|          | $m \pm$   | 115,7  | 1,94 | 105,8  | 1,71 | 14,0  | 0,85 | 14,0  | 0,24 | 34,8  | 0,64 |
|          | $s$       | 383,7  | 6,45 | 350,8  | 5,66 | 46,4  | 2,83 | 47,1  | 0,79 | 115,5 | 2,13 |

| Показники | $KU_{T}O_2$<br>% | $q_{T}O_{2CC}$<br>мл $O_2$<br>за 1<br>серц.<br>скор. | $\frac{Q}{HE}$ | $KU_{L}O_2$<br>% | $q_{T}O_{2RC}$<br>мл $O_2$<br>за 1<br>д.ц. | $\frac{VE}{VE}$ | $\frac{q_{t}O_2}{q_{t}O_2}$ | $\frac{q_{A}O_2}{q_{t}O_2}$ | $\frac{q_{a}O_2}{q_{t}O_2}$ | $\frac{q\bar{v}O_2}{q_{t}O_2}$ |      |
|-----------|------------------|--|----------------|------------------|--|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------|
| ПІДЛІТКИ  | $\bar{x}$        | 26,31  | 3,77           | 19,8             | 17,4                                       | 22,9            | 30,4                        | 5,72                        | 4,27                        | 3,82                           | 2,84 |
|           | $m \pm$          | 1,28   | 0,37           | 0,97             | 0,52                                       | 2,45            | 0,82                        | 0,15                        | 0,17                        | 0,18                           | 0,19 |
|           | $s$              | 3,63   | 1,08           | 2,75             | 1,48                                       | 6,94            | 2,35                        | 0,44                        | 0,49                        | 0,51                           | 0,52 |
| ЧОЛОВІКИ  | $\bar{x}$        | 26,0   | 3,16           | 20,7             | 19,8                                       | 23,5            | 27,6                        | 5,18                        | 4,14                        | 3,84                           | 2,84 |
|           | $m \pm$          | 0,79   | 0,3            | 0,74             | 0,78                                       | 4,42            | 1,09                        | 0,19                        | 0,22                        | 0,11                           | 0,12 |
|           | $s$              | 2,64   | 1,0            | 2,47             | 2,59                                       | 14,7            | 3,61                        | 0,63                        | 0,74                        | 0,37                           | 0,89 |

**Таблиця 3.2** – Показники гемодинаміки та дихальної функції крові у нетренованих підлітків (n=16) та чоловіків (n=16) в стані спокою

| Показники | $\dot{Q}$<br>мл/хв | Q<br>мл | HR<br>скор./х<br>в | $C_{a}O_2$<br>об.% | $C_{\bar{v}}O_2$<br>об.% | $C_{(a-\bar{v})}O_2$<br>об.% | $S_aO_2$<br>% | $S_{\bar{v}}O_2$<br>% |      |
|-----------|--------------------|---------|--------------------|--------------------|--------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------|------|
| ПІДЛІТКИ  | $\bar{x}$          | 6329,0  | 73,4               | 87,8               | 19,4                     | 14,84                        | 5,11          | 94,9                  | 70,2 |
|           | $m \pm$            | 249     | 4,03               | 3,71               | 0,48                     | 0,44                         | 0,28          | 0,22                  | 1,2  |
|           | $s$                | 704     | 11,4               | 10,5               | 1,35                     | 1,3                          | 0,79          | 0,68                  | 3,4  |



## Продовження таблиці 3.2

|          |           |        |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|-----------|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| ЧОЛОВІКИ | $\bar{x}$ | 5327,0 | 63,7 | 96,9 | 18,6 | 13,7 | 4,88 | 95,1 | 70,3 |
|          | $m \pm$   | 161,8  | 4,48 | 5,6  | 0,39 | 0,35 | 0,16 | 0,49 | 0,77 |
|          | $s$       | 536    | 14,9 | 11,4 | 1,3  | 1,15 | 0,54 | 1,64 | 2,57 |

Підвищення швидкості доставки та споживання кисню при невисокому коефіцієнті його утилізації, поєднувалися у підлітків підсиленням функції зовнішнього дихання. Швидкість та інтенсивність надходження кисню до легень у підлітків були вищі, ніж у чоловіків ( $1871,0 \pm 139,7$  мл/хв або  $32,6 \pm 1,99$  мл/хв $\times$ кг), що забезпечувалося більшими значеннями  $\dot{V}_E$  ( $10917,5 \pm 743$  мл/хв.). Така вентиляція була зумовлена відносно високим ДО ( $649 \pm 90$  мл) і більш частішими, ніж у чоловіків, дихальними циклами ( $15,1 \pm 1,27$  дих.ц./хв.). Так як співвідношення АВ/ХОД у підлітків склало  $73,9 \pm 0,2\%$ , то величина альвеолярної вентиляції знаходилась в межах  $7958,5 \pm 467$  мл/хв (табл. 3.3) та забезпечувала підвищену швидкість та інтенсивність надходження кисню до альвеол ( $1384 \pm 100$  мл/хв або  $25,4 \pm 1,05$  мл/хв. $\times$ кг).  $q_iO_2$  і  $q_AO_2$  у підлітків перевищували  $q_tO_2$  в  $5,72 \pm 0,15$  та  $4,47 \pm 0,17$  рази відповідно. Ступінь  $KU_L O_2$  у підлітків була невисокою і складала  $17,4 \pm 0,5\%$ .

**Таблиця 3.3** – Показники зовнішнього дихання і газообміну у нетренованих підлітків (n=16) та чоловіків (n=16) в стані спокою

| Показники    | $\dot{V}_E$<br>мл/хв | $\dot{V}_A$<br>мл/хв | $\dot{V}_A/\dot{V}_E$<br>% | $V_T$<br>мл | f<br>дих/хв | RQ (ДК) | $q_tCO_2$<br>мл/хв |       |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------------|-------------|-------------|---------|--------------------|-------|
| Вікові групи |                      |                      |                            |             |             |         |                    |       |
| ПІДЛІТКИ     | $\bar{x}$            | 10917,5              | 7958,5                     | 73,0        | 649,0       | 15,1    | 0,85               | 279,3 |
|              | $m \pm$              | 743                  | 467                        | 1,9         | 90          | 1,27    | 0,03               | 17,8  |
|              | $s$                  | 2100                 | 1320                       | 5,2         | 255         | 3,59    | 0,08               | 46,7  |

## Продовження таблиці 3.3

|          |           |        |        |      |       |      |      |       |
|----------|-----------|--------|--------|------|-------|------|------|-------|
| ЧОЛОВІКИ | $\bar{x}$ | 8000,3 | 6246,9 | 78,0 | 737,3 | 14,4 | 0,85 | 227,2 |
|          | $m \pm$   | 607,4  | 560,3  | 2,0  | 145,6 | 1,83 | 0,03 | 13,1  |
|          | $s$       | 2015   | 1858   | 7,1  | 482,9 | 6,07 | 0,11 | 37,6  |

В стані спокою ефективність зовнішнього дихання у відношенні доставки кисню у підлітків була дещо меншою, ніж у дорослих: VE в них був вище ( $30,4 \pm 0,8$ ), а  $q_tO_{2RC}$  - практично таким як у дорослих ( $P > 0,05$ ). Ефективність кровотоку у відношенні забезпечення тканин киснем у підлітків мало відрізнялось від того, що мало місце у дорослих ( $q_tO_{2CC} = 3,72 \pm 0,38$  мл  $O_2$  на 1 серц. скор.,  $HE = 19,8 \pm 0,97$ ).

$PO_2$  в альвеолах, в артеріальній та змішаній венозній крові знаходився в межах норми для даного віку ( $P_AO_2 = 111,8 \pm 0,08$  мм рт.ст.), що вище, ніж у чоловіків, а  $P_aO_2 = 80,1 \pm 1,38$  мм рт.ст. та  $P_vO_2 = 37,1 \pm 0,64$  мм рт.ст. ( $P > 0,05$  та  $P > 0,05$ ). На фоні підвищеної альвеолярної вентиляції співвідношення АВ/ХОК дещо перевищувало норму ( $1,25 \pm 0,06$ ).

Таким чином, згідно з наведеними даними, в умовах відносного спокою, коли має місце деяке збудження, викликане підготовкою до наступної м'язової діяльності, вікові відмінності параметрів гемодинаміки та РМК майже не проявляються. В більшій мірі вони відмічаються при аналізі показників зовнішнього дихання, яке у підлітків виявилось менш економічним, ніж у дорослих.

Суттєві відмінності між підлітками та чоловіками були виявлені при м'язовій діяльності динамічного характеру. Слід відмітити, що ці відмінності залежали від інтенсивності навантажень. Для кожної із обстежених груп існує така інтенсивність навантаження, при якій ефективність та економічність РМК становиться мінімальною.

У нетренованих підлітків найвища ефективність та економічність РМК відзначена при навантаженні із споживанням кисню рівним 70% МСК, тобто коли потужність роботи склала 82 Вт (500 кГм/хв), при темпі роботи 83 об/хв.

У нетренованих чоловіків РМК найбільш ефективними та економічними були при навантаженні із споживанням кисню близько 80% МСК.

Виконання роботи потужністю 82 Вт нетренованими підлітками супроводжувалось  $q_tO_2$   $1560 \pm 34,5$  мл/хв ( $27,5 \pm 1,3$  мл/хв. $\times$ кг). При цьому, питома потужність у підлітків склала 1,4 Вт, а ККД=19,4%. Збільшення  $q_tO_2$  забезпечувалось посиленням транспортування його артеріальною кров'ю (до  $2976,2 \pm 91$  мл/хв або  $51,9 \pm 1,73$  мл/хв. $\times$ кг).  $q_aO_2$  перевищувала  $q_tO_2$  в  $1,9 \pm 0,05$  рази.  $KU_T O_2$  з крові підвищився у порівнянні із спокоєм в 2 рази ( $52,7 \pm 1,4\%$ ). Не дивлячись на зниження  $C_aO_2$  до  $18,97 \pm 0,43$  об.%, яке було викликане падінням її оксигенації до  $92,9 \pm 0,47\%$ ., підвищення швидкості доставки кисню до тканин, в першу чергу забезпечувалось більш високим, ніж у дорослих ХОК, який збільшився до  $15656,1$  мл/хв. Така величина ХОК забезпечувалась як за рахунок збільшенням ЧСС до  $144,7 \pm 5,31$  скор./хв, так і УО - до  $109,4 \pm 4,14$  мл. УО у підлітків при цьому навантаженні був максимальним. У зв'язку з більш повним  $KU_T O_2$ , ефективність гемодинаміки у підлітків збільшилась, про що свідчило збільшення  $q_tO_{2CC}$  до  $10,9 \pm 0,51$  мл  $O_2$  та зниження НЕ, величина якого зменшилась в порівнянні з спокоєм майже в 2 рази і склала  $10,0 \pm 0,12$ . В результаті цього, відношення між  $q_v O_2 / q_t O_2$  зменшилось до  $0,9 \pm 0,05$ , хоча в абсолютних цифрах збільшилось до  $1416,2 \pm 76,2$  мл/хв ( $24,4 \pm 0,94$  мл/хв. $\times$ кг). Підвищений ступінь  $KU_T O_2$  при навантаженні призводив до збільшення  $C_{(a-v)}O_2$  до  $9,96 \pm 0,13$  об.% та десатурації змішаної венозної крові до  $47,0 \pm 1,57\%$ , а також зниженню  $C_vO_2$  до  $9,01 \pm 0,58$  об.%.

Фізичні навантаження викликають не тільки підсилення гемодинаміки, а також збільшують вимоги і до функції зовнішнього дихання, відповідального за надходження кисню до легень, альвеол і, відповідно, до крові. ХОД у підлітків на даному ступені навантаження виріс майже в 3 рази в порівнянні із спокоєм ( $33989,9 \pm 869,8$  мл/хв), що забезпечило збільшення  $q_tO_2$  до  $5847 \pm 164,8$  мл/хв ( $103,5 \pm 6,9$  мл/хв. $\times$ кг). Разом з цим в більшій мірі зростає  $q_aO_2$  ( $4986,2 \pm 168,9$  мл/хв або  $88,1 \pm 5,53$  мл/хв. $\times$ кг), що було пов'язано зі

зменшенням фізіологічного мертвого дихального простору і більш сприятливим співвідношенням АВ/ХОД, яке в порівнянні із спокоєм досягло  $85 \pm 1\%$  ( $P < 0,05$ ). АВ склала  $28954,6 \pm 901,9$  мл/хв. Підвищення інтенсивності газообміну в легенях призвело до зміни відношення АВ/ХОК з однієї сторони ( $1,68 \pm 0,05$ ) та до покращення  $KU_L O_2$  ( $26,6 \pm 0,72\%$ ) - з іншої. Дихання у підлітків стало більш частішим ( $22,8 \pm 1,17$  дих/хв) та більш глибоким ( $1559,2 \pm 66,2$  мл.). Зросла економічність зовнішнього дихання (VE знизився до  $19,9 \pm 0,5$ , а  $q_t O_{2RC}$  збільшився до  $70,3 \pm 3,6$  мл  $O_2$ , а РМК став більш ефективним ( $q_i O_2$  в  $3,7 \pm 0,1$ , та  $q_A O_2$  в  $3,17 \pm 0,08$  рази перевищували  $q_t O_2$ ).

Посиленню у підлітків функції зовнішнього дихання та КТФК при таких навантаженнях сприяла більша економічність та ефективність РМК. Про це свідчили зниження VE та HE, збільшення  $KU_L O_2$  та  $KU_T O_2$ , підвищення  $q_t O_{2RC}$  та  $q_t O_{2CC}$ , максимальні величини УО.

Не дивлячись на загальне пониження каскаду  $P_{O_2}$  ( $P_A O_2 = 100,4 \pm 1,13$  мм рт. ст.,  $P_a O_2 = 73,7 \pm 1,91$  мм рт. ст.), градієнти тиску кисню між альвеолярним повітрям, артеріальною та змішаною венозною кров'ю майже не змінилися, що вказувало на те, що напруженість РМК при навантаженні зі споживанням кисню 70% МСК у підлітків не являється максимальною.

$q_t O_2$  при роботі 163 Вт ( $1000$  кГм/хв) збільшилось до  $1993,7 \pm 83,1$  мл/хв ( $34,9 \pm 1,93$  мл/хв.×кг) та склало для половини підлітків 85% МСК, тоді як для іншої половини було максимальним. Відбулось подальше збільшення питомої потужності роботи до 2,8 Вт та підвищення ККД до 24,1%. Так як розрахунок ККД проводився без врахування КБ, а інтенсивність його підвищення при даному навантаженні для нетренованих підлітків була великою, про що можна стверджувати за ДК (спокій  $-0,85 \pm 0,1$ , 163 Вт -  $0,98 \pm 0,02$ ), то така величина ККД без врахування кисневого боргу являється завищеною. Спеціальні дослідження ККД при різноманітних навантаженнях з врахуванням КБ показали, що при даному навантаженні ККД у підлітків не перевищує 22%.

$q_aO_2$  зростала до  $3457,5 \pm 92,7$  мл/хв або  $60,4 \pm 1,99$  мл/хв. $\times$ кг, а відношення її до  $q_tO_2$  - до  $1,75 \pm 0,05$ .  $q_vO_2$  збільшилась до  $1463,7 \pm 56,4$  мл/хв ( $25,4 \pm 0,67$  мл/хв. $\times$ кг), хоча відношення її до  $q_tO_2$  було ще трохи зниженим в порівнянні з тим, що спостерігалось при навантаженні із  $q_tO_2$  70% МСК ( $75 \pm 5\%$ ).

ХОК у підлітків при цьому збільшився до  $18887 \pm 486$  мл/хв і досягався в більшій мірі значною частотою роботи серця до  $180,1 \pm 6,85$  скор./хв при дещо зменшеному, в порівнянні з попереднім навантаженням, УО ( $105,9 \pm 3,93$  мл).

$KU_T O_2$  зріс до ( $57,6 \pm 1,6\%$ ),  $S_aO_2$  знизилась до  $89,6 \pm 0,43\%$ , а  $S_aO_2$  впало до  $18,3 \pm 0,38$  об.%. Зниження  $S_aO_2$  та збільшення  $C_{(a-v)}O_2$  до  $10,5 \pm 0,2$  об.% призвело до того, що його  $C_vO_2$  знизилось до  $7,82 \pm 0,43$  об.%, в ще більшій мірі впало її  $S_vO_2$  (до  $38,1 \pm 1,41\%$ ). Про більш повне його використання з артеріальної крові свідчило зниження НЕ до  $9,52 \pm 0,19$ .  $q_tO_{2CC}$  в порівнянні з навантаженням 82 Вт практично не збільшився ( $P > 0,03$ ).

Функція зовнішнього дихання при даному навантаженні була менш ефективною, ніж на попередньому. Для поглинання кожного літру кисню в легені його доставлялося  $4,74 \pm 0,36$ , а в альвеоли -  $3,94 \pm 0,27$  літри, що було достовірно вище, ніж на попередньому навантаженні. Така знижена ефективність зовнішнього дихання у відношенні надходження кисню до легень та альвеол була зумовлена, в першу чергу, непропорційними по відношенню до  $q_tO_2$ , збільшенням ХОД до  $54628,8 \pm 4145,7$  мл/хв, а також зниженням співвідношення АВ/ХОД ( $P > 0,04$ ) до  $0,84 \pm 0,02\%$ . Нелінійне збільшення легеневої вентиляції, при майже не зміненому ДО ( $1542,5 \pm 62,6$  мл,  $P > 0,05$ ), забезпечувалось підвищенням ЧД до  $32,5 \pm 2,78$  за хв. При таких величинах ХОД та АВ/ХОД, в легені надходило  $9388,7 \pm 786,5$  мл/хв ( $168,1 \pm 19,6$  мл/хв. $\times$ кг) та в альвеоли  $7801,5 \pm 522,0$  мл/хв, ( $138,5 \pm 12,9$  мл/хв. $\times$ кг) кисню.

Знизилась в результаті таких змін економічність функції зовнішнього дихання по відношенню до  $q_tO_2$  ( $q_tO_{2RC}$  впав до  $64,2 \pm 6,3$  мл, VE - до  $25,0 \pm 1,93$ ). Збільшення швидкості надходження кисню до крові сприяло зростанню співвідношення АВ/ХОК до  $2,18 \pm 0,13$ .  $KU_L O_2$  в порівнянні з попереднім навантаженням у підлітків також знизився.

Підвищення  $P_A O_2$  до  $106,2 \pm 1,46$  мм рт. ст. та зниження  $P_A O_2$  до  $70,4 \pm 1,1$  мм рт. ст. призвели до збільшення альвеолярно-артеріального напірного градієнту цього газу. Також в порівнянні з попереднім навантаженням недостовірно знизився артеріо-венозний градієнт, хоча загальний альвеолярно-венозний градієнт  $PO_2$  став дещо більшим.

Не дивлячись на це, напруженість РМК у підлітків ще не досягла тих рівнів, які спостерігалися при аналогічному навантаженні у дорослих осіб.

Таким чином, при виконанні роботи потужністю 163 Вт функція зовнішнього дихання у підлітків вже становиться менш економічною та ефективною, ніж при навантаженні 82 Вт, а ефективність КТФК продовжує залишатися високою, хоча не досягає рівня ефективності у дорослих чоловіків.

Для половини досліджуваних підлітків робота потужністю 163 Вт була граничною, а  $q_tO_2$  досягало максимуму до 4-5-ї хвилини навантаження. Тому роботу з потужністю 245 Вт (1500 кГм/хв) виконала лише частина усіх досліджуваних підлітків в середньому на протязі 40 с. Середнє МСК для юних підлітків при цьому знаходилось в межах 2300-2350 мл/хв, а час його утримання був нетривалим. ККД такої роботи, розрахований через МСК без врахування кисневого боргу склав майже 28%. Таке високе його значення пов'язане з тим, що її виконання проходило в значних анаеробних умовах. Проте, що в цей час відбувалося значне накопичення недоокислених продуктів в крові свідчив ДК, який одразу після роботи виріс до  $1,2 \pm 0,036$ . ККД, розрахований для усієї роботи з врахуванням кисневого боргу та вирахуванням рівня спокою, було значно нижчим та знаходився в межах

22,1%. При розрахунку ККД з використанням значень усієї витраченої енергії (разом з енергією на відносний спокій) ця величина була ще меншою (17-18%).

В більшій мірі, ніж при попередньому навантаженні, відбувались неоднакові зміни ефективності зовнішнього дихання та гемодинаміки. При виконанні підлітками роботи 245 Вт ефективність зовнішнього дихання знижалась в більшій мірі, ніж гемодинаміки. Так,  $HE$  склав  $9,19 \pm 0,07$ ,  $q_{lO_2CC}$  -  $11,70,47$  мл  $O_2$ .  $KU_{TO_2}$  також майже не змінився -  $59,9 \pm 1,3\%$  (було 57,6). Це було пов'язано з тим, що при такому накопиченні напруження, яким є для нетренованих підлітків дане навантаження. Підвищився ХОК до  $20649 \pm 613,6$  мл/хв, та забезпечувався збільшенням ЧСС до  $193,2 \pm 54,4$  скор./хв при майже незмінному УО ( $106,7 \pm 2,32$  мл,  $P > 0,05$ ). У деяких підлітків ЧСС, зареєстрована в останню хвилину роботи, знаходилась на рівні 210-220 скор./хв (максимально зафіксована ЧСС у одного із нетренованих підлітків – 234 скор./хв). Це свідчить про те, що максимальний ХОК у більшості підлітків, які виконували таку роботу, досягався в більшій мірі за рахунок збільшення ЧСС та в меншій – за рахунок збільшення УО.  $q_{lO_2}$  при даному навантаженні виросло майже пропорційно  $q_aO_2$ .  $S_aO_2$  практично не змінилось ( $P > 0,05$ ), а в змішаній венозній крові стала ще нижче на 0,5 об.%,  $S_{\bar{v}}O_2$  впало до  $35,6 \pm 1,27\%$ . Не дивлячись на деякі зниження вмісту та насиченості,  $S_{\bar{v}}O_2$  у підлітків зростала протягом всього часу виконання роботи та досягала  $1492,5 \pm 33,1$  мл/хв ( $26,1 \pm 0,77$  мл/хв. $\times$ кг).

Якщо КТФК ще була в змозі підтримувати працездатність шляхом розширення (хоча і не значного) своїх можливостей, то посилення зовнішнього дихання потребувало додаткових затрат на роботу органів дихання. Ще в більшій мірі знижувався  $KU_{LO_2}$ , майже в 3 рази в порівнянні зі спокоєм збільшилось співвідношення АВ/ХОК. Погіршилася економічність зовнішнього дихання, що проявилось у збільшенні  $VE$  до  $28,7 \pm 1,27$  та зниженні  $q_{lO_2RC}$  до  $56,6 \pm 3,4$  мл  $O_2$ . Знизилась і ефективність зовнішнього дихання: в легені потрапляло майже в 5 разів, а в альвеоли в 4 рази кисню

більше, ніж споживалось, що було пов'язано із зростанням ХОД вище 70 л/хв та альвеолярної – до 55 л/хв при значному прискоренні дихання до  $41,1 \pm 2,99$  дих.ц./хв. Також змінилося відношення альвеолярної до легеневої вентиляції, яке склало к кінцю роботи  $78 \pm 0,03\%$  (було  $84 \pm 0,02\%$ ).

Безпосередньо зміни функції кровообігу та дихання призводили до того, що альвеолярно-артеріальний градієнт  $PO_2$  зріс в більшій мірі, ніж артеріально-венозний, а РМК став ще більш напруженим.

Вся робота, загальною ємністю 1417 Вт (8671 кГм), була виконана нетренованими підлітками за 10 хв 22 с.

Нетреновані чоловіки. Стан спокою у чоловіків характеризувався більш низьким, ніж у підлітків, загальним рівнем швидкості та інтенсивності надходження кисню в легені, альвеоли, транспортування його артеріальною кров'ю, а також споживанням тканинами (табл. 3.1).

Зовнішнє дихання у чоловіків в спокої забезпечувало надходження в легені  $115,7 \pm 383,7$  мл/хв ( $15,9 \pm 1,95$  мл/хв. $\times$ кг) та альвеоли  $105,8 \pm 350,8$  мл/хв ( $14,6 \pm 1,71$  мл/хв. $\times$ кг) кисню, що в  $5,18 \pm 0,19$  та  $4,14 \pm 0,22$  рази перевищувало швидкість його споживання. Це вказувало на його більшу, в порівнянні з підлітками, ефективність зовнішнього дихання. ХОД у чоловіків ( $8000,3 \pm 607,4$  мл/хв) супроводжувався ЧД  $14,4 \pm 1,83$  в хвилину, що було нижче, ніж у підлітків, а також підвищеним ДО –  $737,3 \pm 145,6$  мл. Функція зовнішнього дихання у чоловіків виявилася більш економічною, ніж у підлітків ( $VE - 27,6 \pm 1,09$ ,  $q_{tO_{2RC}} - 23,5 \pm 4,42$  мл  $O_2$ ).  $KU_L O_2$  у чоловіків також достовірно був вищим і складав  $19,8 \pm 0,78$  л повітря, що необхідно провентилювати для споживання кожного літру кисню. АВ ( $6246 \pm 560$  мл/хв) складала  $78 \pm 2\%$  та в  $1,04 \pm 0,07$  рази перевищувала кровотік.

По напруженості РМК чоловіків незначно відрізнялись від РМК підлітків. У чоловіків  $PO_2$  в артеріальній крові був дещо вище ( $85,6 \pm 3,05$  мм рт. ст.,  $P < 0,05$ ), а напруженість в змішаній веноній крові нижче ( $36,9 \pm 55$  мм рт. ст.,  $P < 0,05$ ) при майже однаковому  $PO_2$  в альвеолярному повітрі ( $107 \pm 1,0$



мм рт. ст.,  $P < 0,05$ ). У чоловіків, таким чином, альвеолярно-артеріальний градієнт, а також повітряно-венозний градієнт  $PO_2$  були більші, ніж у підлітків, а артеріально-венозний менший.

КТФК та РМК чоловіків у позі сидячи характеризувалися більшою, ніж у підлітків, економічністю та ефективністю.

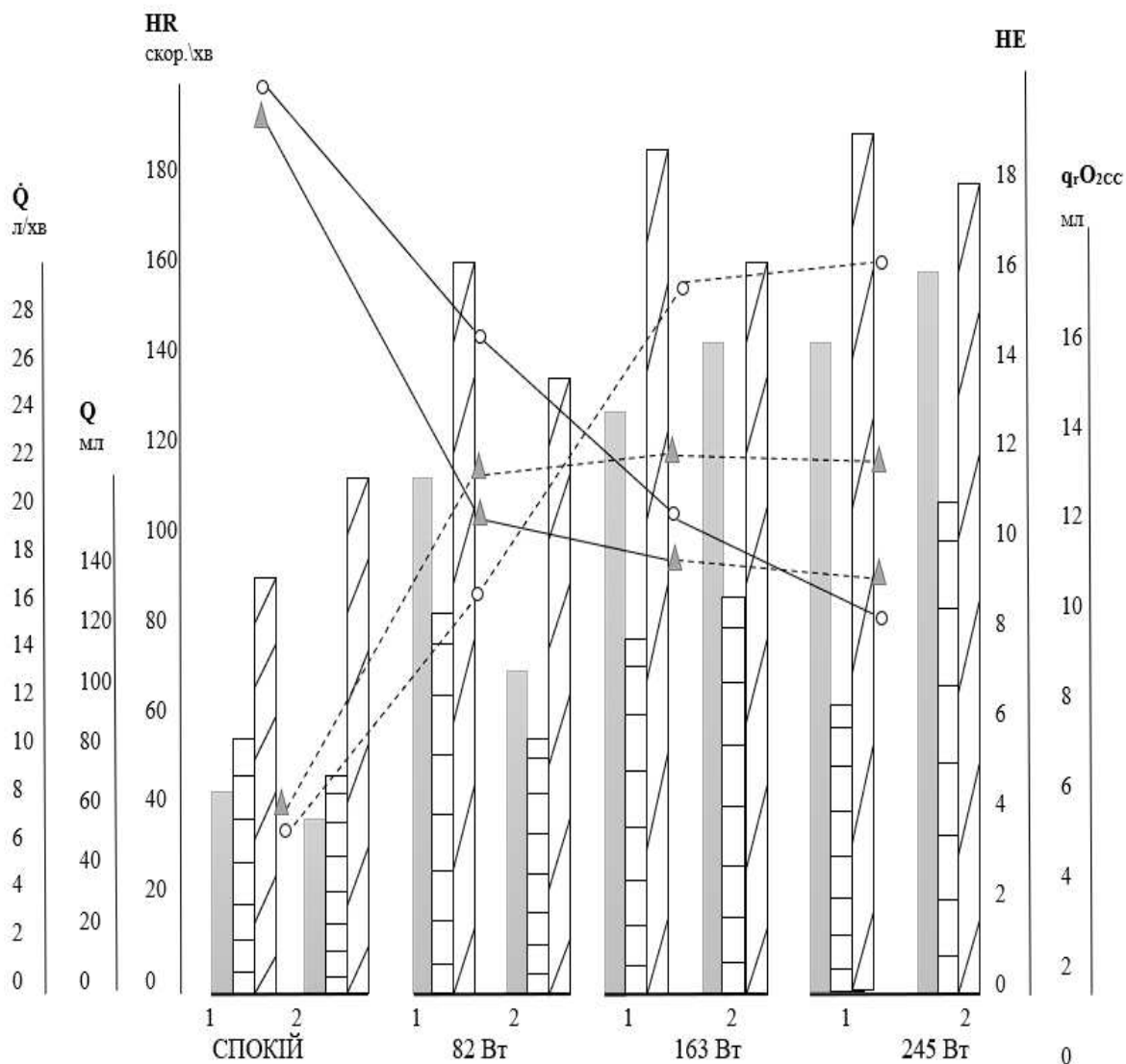
В процесі вивчення вікових відмінностей реакцій організму на фізичне навантаження, порівняння КТФК та РМК чоловіків та підлітків проводили аналіз отриманих результатів як при механічній роботі однакової потужності, так при навантаженнях однакової інтенсивності (відносно % МСК).

При роботі однакової потужності, як 82 так і 163 Вт, вікові відмінності були чіткими. При роботі 82 Вт питома потужність у чоловіків була нижче, ніж у підлітків, а ККД – вище (4,1 Вт та 27,3%). Якщо у дорослих це був істинний ККД, тобто такий як у стійкому стані, то у підлітків він не може вважати істинним, так як при даному навантаженні у них вже починав накопичуватися кисневий борг, згідно з чим потім була зроблена поправка.

На відміну від нетренованих підлітків, виконання роботи 82 Вт чоловіками супроводжувалось більш низькою відносною (30% МСК) та абсолютною величинами  $q_{tO_2}$  ( $836,7 \pm 34$  мл/хв або 11,8 мл/хв. $\times$ кг). Разом з такою невисокою швидкістю його споживання, у чоловіків виявились більш низькими і інші параметри КТФК.  $q_aO_2$  підвищилась до 1163,3 мл/хв (17,7 мл/хв. $\times$ кг) та все ще перевищувала його  $q_{tO_2}$  в 1,51 рази. Ефективність гемодинаміки у відношенні постачання тканин киснем хоч і стала вищою в порівнянні із спокоєм, та все ще при даному навантаженні була меншою, ніж у підлітків (НЕ склав 12,5,  $q_{tO_{2CC}} - 7,12$  мл  $O_2$ ). В меншій мірі збільшився також  $KU_{T O_2}$  (41,8%). Артеріальна кров насичувалась киснем до 90,3% та містила 19,9 об.% кисню.  $C_{\bar{v}O_2}$  збільшилась лише до 8,31 об.% (рис. 3.4), а  $C_aO_2$  знизилось до 12,92 об.%, тоді як у чоловіків вона майже на 3 об.% була більшою, тому її насиченість залишалась достатньо високою (58,3%). Менша

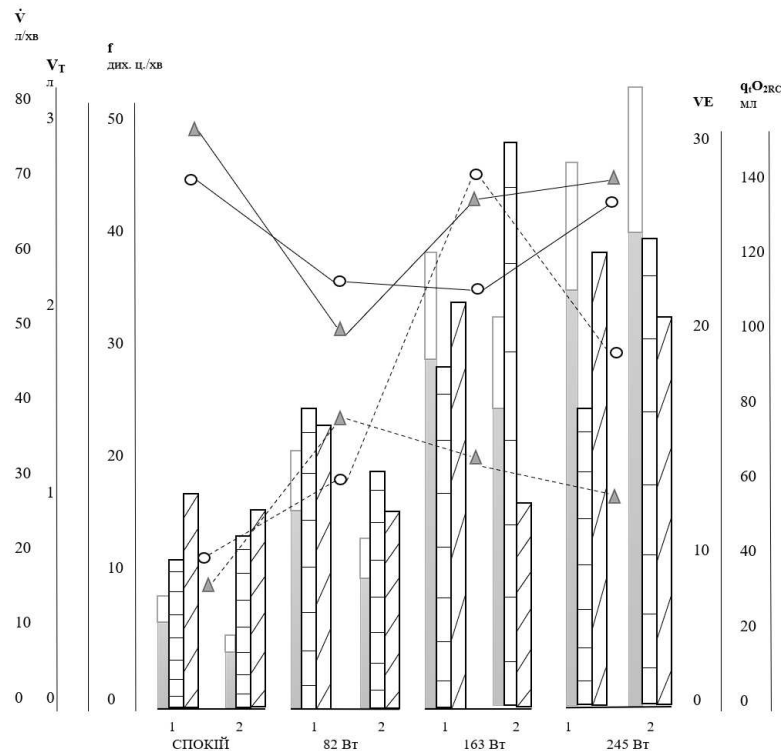
$q_aO_2$  була зумовлена меншими величинами ХОК (10043,3 мл/хв), УО (81 мл) та ЧСС (124 скор./хв) (рис. 3.1).

Така робота забезпечувалась у чоловіків майже в 2 рази меншими, ніж у підлітків, величинами легеневої (20,3 л/хв) та альвеолярної (15,48 л/хв) вентиляції (рис. 3.2). Це, в свою чергу, супроводжувалось у дорослих меншими  $q_iO_2$  (3493,3 мл/хв або 48,6 мл. кг) та  $q_AO_2$  (2465,0 мл/хв або 30,1 мл/хв.×кг), що в 4,11 та 3,05 рази перевищували  $q_iO_2$  (рис. 3.3). Разом з більш низькими, ніж у підлітків, показниками зовнішнього дихання,  $KU_{LO_2}$  з повітря був відносно невисоким (24,6%). Більші збільшення АВ/ХОД (7,4%), ДО (1296,7 мл), а також ЧД (14 дих/хв) свідчили про те, що дане навантаження не пред'являло високих вимог до організму чоловіків. Про те, що дане навантаження для чоловіків було легко виконуючим, свідчить відносно невисока напруженість РМК.  $P_{AO_2}$  склав 97,5 мм рт.ст.,  $P_aO_2$  артеріальній крові – 65,4 мм рт.ст., а  $P_vO_2$  зменшилось у порівнянні із спокоєм всього на 4,6 мм рт.ст., тоді як у підлітків це зниження сталося на 12 мм рт.ст. Таке загальне зниження каскаду  $PO_2$ , хоч і не призвело до змін градієнтів напруженості кисню між окремими етапами на його шляху в організмі, все-таки підвищило загальний повітряно-венозний градієнт  $PO_2$ . Тобто така робота для чоловіків була недостатньо інтенсивною та не вимагала значної мобілізації функціональних систем організму для забезпечення працюючих тканин достатньою кількістю кисню. Тим не менш, в порівнянні із спокоєм, РМК стали більш економічними та ефективними.



**Рисунок 3.1** – Зміни ХОК ( $\dot{Q}$ -■), УО ( $Q$ -▨) та ЧСС (HR-□) у нетренованих підлітків (1) та нетренованих чоловіків (2) в спокої та під час роботи різної потужності. Суцільна лінія – гемодинамічний еквівалент (HE), пунктирна –  $q_rO_{2cc}$ . Нетреновані підлітки -▲, нетреновані чоловіки -○

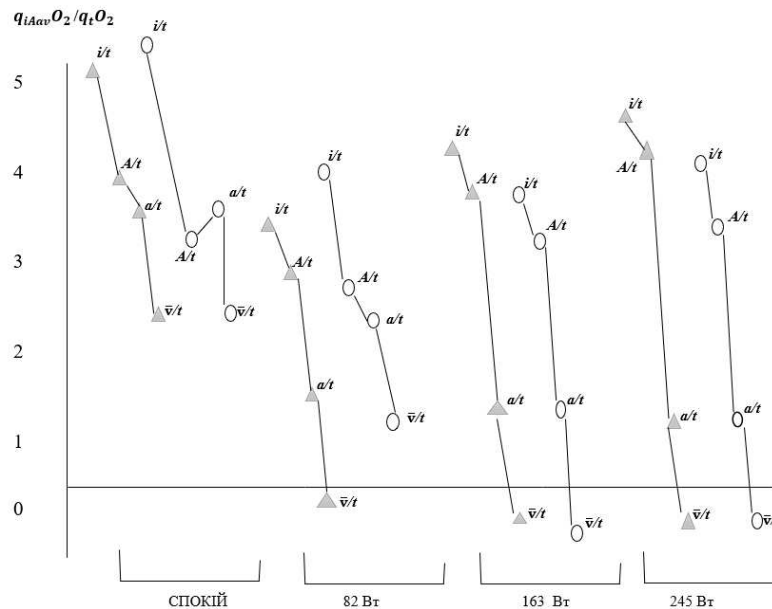
Киснева вартість роботи, потужністю 82 Вт, у чоловіків була значно меншою, ніж у підлітків.



**Рисунок 3.2** – Зміни легеневої вентиляції ( $\dot{V}_E$ —□), альвеолярної вентиляції ( $\dot{V}_A$ —▨), дихального об'єму ( $V_T$ —□) та частоти дихання ( $f$ —○) у нетренованих підлітків (1) та чоловіків (2) в спокої та динаміці змін легеневої вентиляції. Суцільна лінія – вентиляційний еквівалент (VE), пунктирна – кисневий ефект дихального циклу ( $q_tO_{2RC}$ ). Нетреновані підлітки - ▲, нетреновані чоловіки -○

При роботі 163 Вт у чоловіків питома потужність збільшилась до 2,2 Вт, ККД до 25,9%, а споживання кисню склало 75% МСК або 2183,3 мл/хв (30,7 мл/хв.×кг).  $q_aO_2$  (9343 мл/хв або 54,1 мл/хв.×кг) та (1693,3 мл/хв або 23,5 мл/хв.×кг) в 1,77 та 0,76 рази перевищували  $q_tO_2$  (рис. 3.3).  $KU_{T}O_2$  виріс до 57%. ХОК при цьому навантаженні збільшився до 20,633 л, УО до 121 мл та ЧСС до 155,3 скор./хв, тобто у чоловіків збільшення ХОК забезпечувалось меншою, ніж у підлітків, ЧСС та більшим УО. У порівнянні із спокоєм (рис. 3.7), ЧСС у підлітків та чоловіків збільшувалась в однаковій мірі, а УО та ХОК зростали в більшій мірі у чоловіків.  $S_aO_2$  знижувалась під час цього навантаження до 84,8%,  $S_aO_2$  склала – до 18,8 об.%, а  $S_{\bar{v}}O_2$  – до 8,1 об.%.

відповідно збільшувалась до 10,7 об.% та була майже такою ж, як у підлітків (рис. 3.4). Більша, ніж у підлітків  $q_tO_2$ , а також його доставка забезпечувалась у чоловіків більш економною КТФК (кожний літр кисню вилучався тканинами з 9,43 л крові, а за кожне серцеве скорочення споживалось 14,1 мл  $O_2$ ).

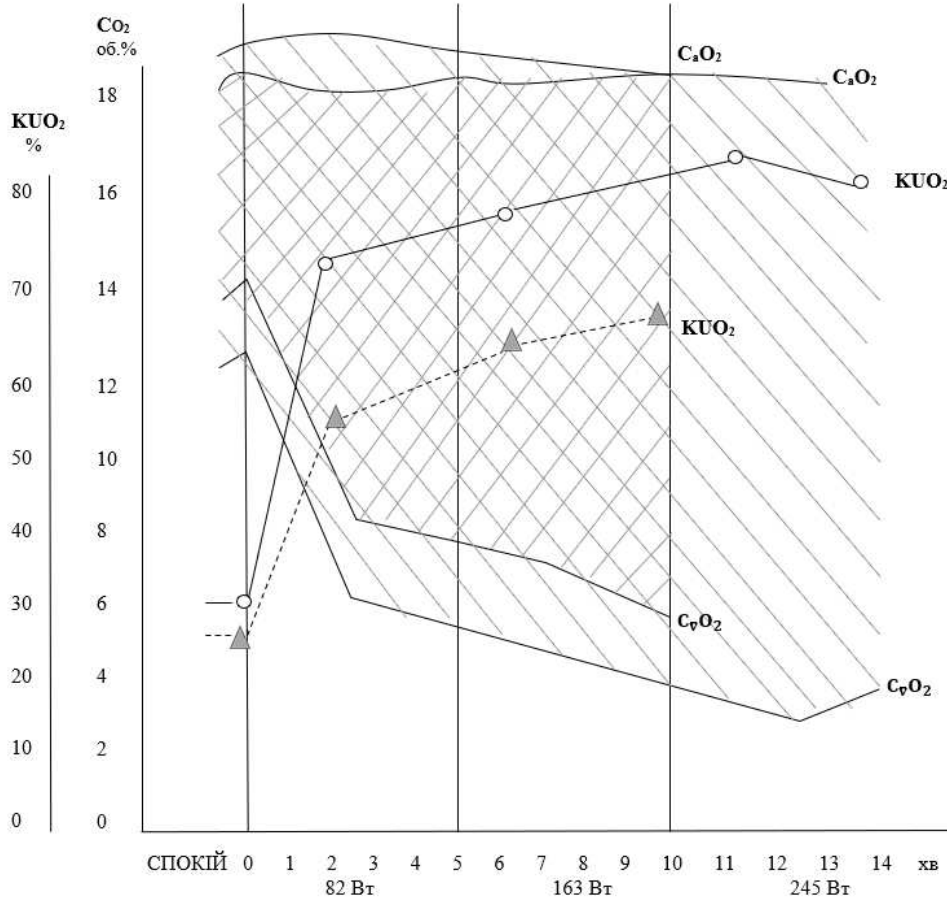


**Примітка.\*** – роботу потужністю 245 Вт виконали лише 50% підлітків.

**Рисунок 3.3** – Співвідношення між швидкістю просування кисню в організмі та його споживанням у нетренованих підлітків (▲) та чоловіків (○)

Під час цього навантаження у дорослих зовнішнє дихання було більш економічним, ніж у підлітків. При більшій, ніж у підлітків,  $q_tO_2$ , у чоловіків ХОД був майже таким же (53,2 л/хв), а АВ меншою (41,2 л/хв). Співвідношення АВ/ХОД при даному навантаженні у чоловіків складало 77%. Все це забезпечувало надходження в легені та альвеоли 9166,6 мл/хв (134,3 мл/хв.×кг) та 7070 мл/хв (98,8 мл/хв.×кг) кисню. Не дивлячись на меншу, ніж у підлітків  $q_iO_2$  і  $q_AO_2$ ,  $KU_LO_2$  виріс до 26%. Збільшилась ефективність та економічність зовнішнього дихання: для споживання кожного літру кисню через легені його вентилювалось 4, а через альвеоли 3,29 літри,  $q_tO_{2RC}$  збільшився до 128,8 мл  $O_2$ , а VE знизився до 22,5. ХОД у чоловіків

забезпечувався великим збільшенням ДО (до 3053,4 мл) при меншій, ніж у підлітків підвищенням ЧД (всього до 18 дих/хв).



**Рисунок 3.4** – Динаміка  $C_aO_2$  та  $C_vO_2$ , а також  $KU_T O_2$  у нетренованих підлітків ( $\blacktriangle$ ) та чоловіків ( $\circ$ ) під час роботи різної потужності. Заштриховані площі –  $C_{(a-v)}O_2$ :  $///$  - нетреновані підлітки,  $\\$  - нетреновані чоловіки

У чоловіків збільшувалась напруженість РМК. У зв'язку з кращою утилізацією кисню тканинами,  $P_vO_2$  впав до більш низьких значень, ніж у підлітків (до 22,6 мм рт.ст.).  $P_aO_2$  у чоловіків також знизилось до більш низьких величин та склало 60,2 мм рт.ст.  $P_AO_2$  склав 103,4 мм рт.ст. Такі зміни  $PO_2$  призвели до збільшення альвеолярно-артеріального, артеріально-венозного, альвеолярно-венозного, а також загального повітря-венозного градієнтів кисню. РМК чоловіків стали більш напруженими, ніж у спокої та на попередньому навантаженні, а також в порівнянні з РМК підлітків.

Порівняння змін КТФК чоловіків та підлітків при виконанні роботи 163 Вт показало, що інтенсивність навантаження для підлітків та чоловіків була неоднакова. Чоловіки виконували роботу при більш низькій інтенсивності  $q_tO_2$ . Якщо для підлітків вона склала 85-90% МСК, то для чоловіків тільки 75% МСК. Більш низькі величини  $q_tO_2$  (на 1 кг маси тіла та в %% до МСК), менші величини параметрів дихання та кровообігу, а також низькі VE та HE та збільшені ефекти дихального та серцевого циклів, поряд з меншою швидкістю поетапного переміщення кисню в організмі по відношенню до  $q_tO_2$ , свідчили про більшу ефективність та економічність КТФК та РМК чоловіків.

До цих пір ми проводили порівняння змін КТФК та РМК підлітків та чоловіків при навантаженні однакової потужності (82 та 163 Вт), однак ці навантаження не були однакової для цих двох вікових груп за інтенсивністю. Робота потужністю 82 Вт для підлітків по інтенсивності була приблизно такою ж, як робота 163 Вт для дорослих, тобто 70-75% МСК, а роботу 163 Вт для підлітків можна зрівняти з роботою 245 Вт для чоловіків (85-90% МСК). При роботі 245 Вт для чоловіків  $q_tO_2$  склало 2863,3 мл/хв або 40,2 мл/хв.×кг. На відмінну від нетренованих підлітків, половина яких не могла її виконати, для всіх чоловіків вона була гранично виконуваною та продовжувалась від 3,5 до 5 хвилин. Питома потужність роботи, яка була розвинута чоловіками при цьому, була нижче, ніж у тих підлітків, котрі її виконували протягом 30-40 с.

Як свідчать дані (табл. 3.5), швидкість споживання кисню у чоловіків була значно вище, ніж у підлітків, але МСК на 1 кг маси тіла у них практично були однакові. ККД виконуваної роботи у чоловіків були вищі, ніж у підлітків, та склали в середньому 28,1%. У зв'язку з підвищеним споживанням кисню, у чоловіків була збільшена швидкість транспортування кисню артеріальною кров'ю до 4547,7 л/хв (64 мл/хв.×кг), що забезпечувалось збільшенням ХОК до 25,3 л. ЧСС збільшувалась до 186 скор./хв та УО до 137,2 мл. Висока швидкість споживання кисню при більш низькій, ніж у підлітків. ЧСС супроводжувалась збільшенням кисневого пульсу до 15,5 мл, а так як ХОК

збільшувався в меншій мірі, чим споживання кисню, гемодинамічний еквівалент знизився до 8,88, що свідчило про значно більшу ніж у підлітків економічність гемодинаміки. Не дивлячись на високу ефективність гемодинаміки (швидкість транспортування кисню артеріальною кров'ю перевищувала швидкість споживання в 1,61, а змішаною венозною кров'ю склала 60% від споживання кисню), змішана венозна кров відносила легеням близько 1683,4 л/хв кисню. Разом з цим ефективність КТФК ще збільшилась. Збільшився коефіцієнт утилізації кисню тканинами до 62,6%. Велике використання кисню тканинами супроводжувалось збільшенням його артеріо-венозної різниці до 11,3 об.%. Це при зниженні вмісту кисню в артеріальній крові до 18,1 об.%, а насиченості артеріальної крові до 83%, сприяло зниженню вмісту кисню в змішаній венозній крові до 7,2 об.%, а її оксигенації до 32%.

Виконання роботи з МСК чоловіками супроводжувалось збільшенням легеневої вентиляції до 85,3 л/хв.

**Таблиця 3.4** – Параметри режимів масопереносу кисню в організмі та показники їх економічності та ефективності у нетренованих підлітків (n=16) та чоловіків (n=16) при МСК

| Показники    | q <sub>i</sub> O <sub>2</sub> |                | q <sub>A</sub> O <sub>2</sub> |                | q <sub>a</sub> O <sub>2</sub> |                | q <sub>t</sub> O <sub>2</sub> |                | q <sub>v</sub> O <sub>2</sub> |                |
|--------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
|              | мл/хв                         | мл/хв.<br>× кг | мл/хв                         | мл/хв.<br>× кг | мл/хв                         | мл/хв.<br>× кг | мл/хв                         | мл/хв.<br>× кг | мл/хв                         | мл/хв.<br>× кг |
| Вікові групи |                               |                |                               |                |                               |                |                               |                |                               |                |
| $\bar{x}$    | 12212,4                       | 217,7          | 9677,5                        | 171,6          | 3743,5                        | 66,0           | 2260,0                        | 39,9           | 1442,5                        | 26,1           |
| $m \pm$      | 695,1                         | 19,5           | 474,9                         | 13,0           | 88,5                          | 2,9            | 91,3                          | 2,45           | 33,1                          | 0,77           |
| $s$          | 1965,9                        | 55,3           | 1343,3                        | 36,8           | 250,2                         | 8,21           | 253,4                         | 6,1            | 93,6                          | 2,17           |



## Продовження таблиці 3.4

|           |         |       |         |       |        |      |        |      |        |      |
|-----------|---------|-------|---------|-------|--------|------|--------|------|--------|------|
| $\bar{x}$ | 14700,0 | 316,6 | 12298,4 | 173,0 | 4547,6 | 64,0 | 2863,4 | 40,2 | 1683,3 | 23,8 |
| ЧОЛОВІКИ  |         |       |         |       |        |      |        |      |        |      |
| $m \pm$   | 848,5   | 14,0  | 826,6   | 13,0  | 128,6  | 3,28 | 35,1   | 0,37 | 132,7  | 2,49 |
| $s$       | 2078,3  | 34,8  | 2024,7  | 31,9  | 315,0  | 8,05 | 104,1  | 1,12 | 325,1  | 6,1  |

| Показники    | KU <sub>T</sub> O <sub>2</sub> | q <sub>i</sub> O <sub>2</sub> CC | HE   | KU <sub>L</sub> O <sub>2</sub> | q <sub>t</sub> O <sub>2</sub> RC | VE   | $\frac{q_i O_2}{q_t O_2}$ | $\frac{q_A O_2}{q_t O_2}$ | $\frac{q_a O_2}{q_t O_2}$ | $\frac{q\bar{v} O_2}{q_t O_2}$ |
|--------------|--------------------------------|----------------------------------|------|--------------------------------|----------------------------------|------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Вікові групи | %                              | мл O <sub>2</sub>                |      | %                              | мл O <sub>2</sub>                | VE   |                           |                           |                           |                                |
| $\bar{x}$    | 59,9                           | 11,7                             | 9,17 | 18,5                           | 56,6                             | 28,7 | 5,41                      | 4,32                      | 1,69                      | 0,67                           |
| ПІДЛІТКИ     |                                |                                  |      |                                |                                  |      |                           |                           |                           |                                |
| $m \pm$      | 1,3                            | 0,41                             | 0,07 | 0,86                           | 3,4                              | 1,27 | 0,24                      | 0,19                      | 0,04                      | 0,04                           |
| $s$          | 3,7                            | 1,2                              | 0,2  | 2,4                            | 9,7                              | 3,53 | 0,68                      | 0,53                      | 0,1                       | 0,1                            |
| $\bar{x}$    | 62,6                           | 15,5                             | 8,88 | 19,6                           | 95,6                             | 27,7 | 5,23                      | 4,43                      | 1,61                      | 0,6                            |
| ЧОЛОВІКИ     |                                |                                  |      |                                |                                  |      |                           |                           |                           |                                |
| $m \pm$      | 3,86                           | 1,07                             | 0,51 | 1,44                           | 10,6                             | 1,59 | 0,31                      | 0,24                      | 0,06                      | 0,07                           |
| $s$          | 9,45                           | 2,62                             | 1,26 | 3,53                           | 26,1                             | 3,9  | 0,75                      | 0,59                      | 0,81                      | 0,25                           |

Підвищене співвідношення АВ/ХОД до 84%, призвели до збільшення АВ до 71,3 л/хв. Велика кількість повітря, вентилязованого за одну хвилину через легені та альвеоли, забезпечували у чоловіків надходження 14700 мл/хв (316,6 мл/хв.×кг) та 12293,4 мл/хв (173 мл/хв.×кг) кисню. Поряд з підвищеною вентиляцією та швидкістю надходження кисню до легень та альвеол, хоча і не так, як у підлітків, але все-таки знижувалась ефективність зовнішнього дихання у відношенні до його споживання: швидкість його надходження в легені в 5,23, а в альвеоли в 4,43 рази. Глибина дихання стала меншою (2770

мл), а частота вищою (32,3 дих/хв). Це призвело до того, що дихання стало менш економічним: кисневий ефект дихального циклу склав 95,6 мл  $O_2$ , а вентиляційний еквівалент – 27,7. Знизився коефіцієнт використання кисню в легенях (до 19,6%) та збільшилось співвідношення вентиляції/перфузія до 2,64.

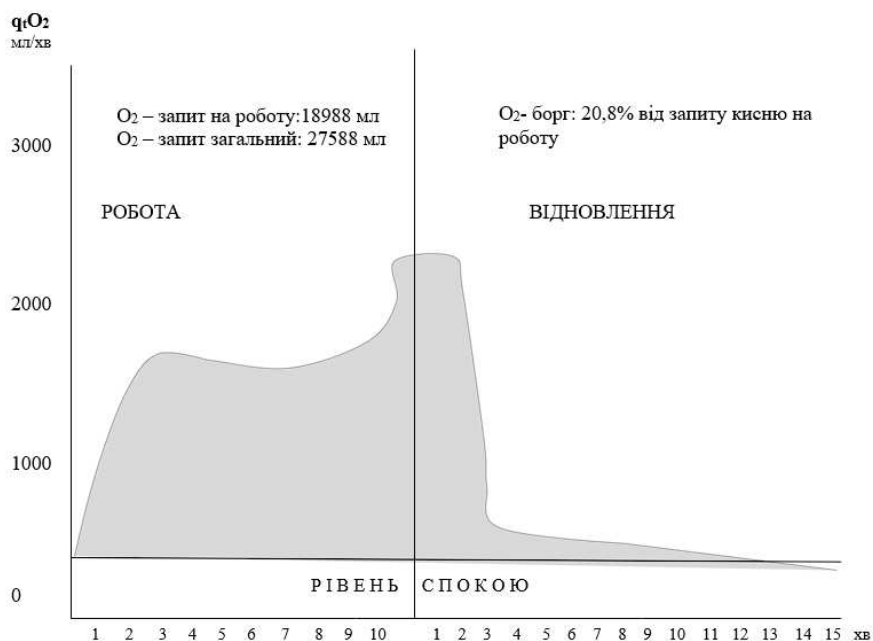
Підвищення співвідношення АВ/ХОД сприяло тому, що вміст кисню в альвеолярному повітрі підвищився до 15,6 об.%, а його  $PO_2$  – до 109 мм рт.ст. Напруженість кисню в артеріальній та змішаній венозній крові продовжувала знижуватись до 77,7 мм рт.ст. та 21,6 мм рт.ст. Підвищення  $PO_2$  в альвеолярному повітрі, на фоні зниження  $PO_2$  в артеріальній та змішаній венозній крові, зробили РМК чоловіків при МСК більш напруженим. Збільшились альвеолярно-артеріальний, альвеолярно-венозний та загальний повітряно-венозний градієнти  $PO_2$ .

При порівнянні змін КТФК та РМК чоловіків та підлітків при навантаженні однакової інтенсивності (біля 70% МСК) виявилось, що у чоловіків загальний рівень каскадів РМК, а також абсолютні та відносні величини споживання кисню були значно вищі, ніж у підлітків. Більш високий рівень РМК у чоловіків забезпечувався більш міцним функціонуванням системи дихання та кровообігу. У чоловіків до більш високих величин і в більшій мірі були збільшені ХОД, ДО, АВ, ХОК та УО. Про підвищену ефективність зовнішнього дихання та кровообігу у чоловіків свідчать більш високі, ніж у підлітків, кисневі ефекти дихального та серцевого циклів. Підвищена, в порівнянні з підлітками, швидкість просування кисню в організмі чоловіків супроводжувалась збільшеною мірою використання кисню із повітря та крові. Висока ступінь утилізації кисню, більша його артеріо-венозна різниця приводили до того, що змішана венозна кров у чоловіків менше містила кисню, що знижувало швидкість його транспортування змішаною венозною кров'ю та зменшувало «холостий» струм венозної крові до серця та легень.

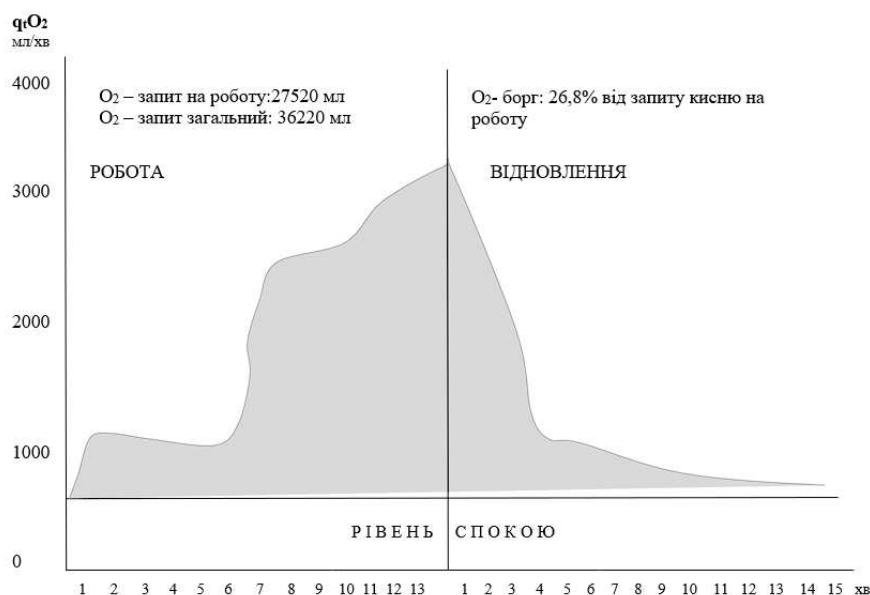
Вказані відмінності свідчили про те, що при навантаженні однакової інтенсивності (70-75% МСК) робота, яка виконувалась чоловіками, супроводжувалась більшою, ніж у підлітків, питомою потужністю, високим споживанням кисню, а також великим посиленням функції зовнішнього дихання та кровообігу. Збільшення легеневої та альвеолярної вентиляції, ХОК призводять до того, що швидкість надходження кисню під час роботи до легень та альвеол, швидкість транспортування його артеріальною кров'ю з віком збільшується. РМК чоловіків при цьому виявляються більш ефективними та економічними, але і більш напруженими.

При МСК абсолютні величини споживання кисню у чоловіків виявились найбільшими. Однак, при розрахунку на кілограм маси тіла виявилось, що інтенсивність його споживання у чоловіків та підлітків практично однакові. Не дивлячись на те, що МСК у половини підлітків та у всіх чоловіків настало при однаковій потужності виконання роботи, її тривалість у чоловіків була набагато більша.

Розрахунок енергетичних параметрів робіт, які виконували дорослі нетреновані особи, показує, що загальна потужність роботи з віком підвищується, збільшується загальний кисневий запит та кисневий запит на роботу (рис. 3.5, рис. 3.6). Така здатність збільшення кисневого запиту приводить до того, що тривалість виконання роботи з віком подовжується, хоча при цьому зростає і кисневий борг, який в наших дослідженнях у чоловіків досягав 26,8% від кисневого запиту на роботу.



**Рисунок 3.5** – Динаміка зміни об'ємної швидкості споживання кисню під час м'язової діяльності і в період відновлення у нетренованих підлітків, які виконували роботу за схемою навантаження №2

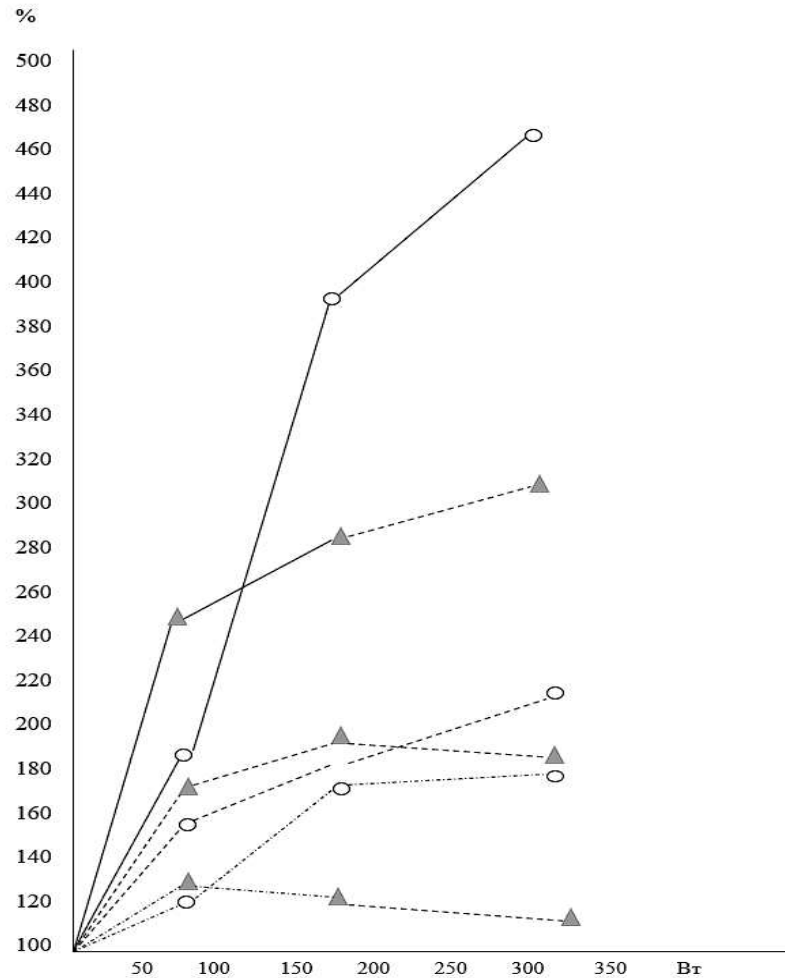


**Рисунок 3.6** – Динаміка зміни швидкості споживання кисню під час м'язової діяльності та в період відновлення у нетренованих чоловіків, які виконували роботу за схемою навантаження №2

Чоловіки виконували роботу з МСК при більш високих, ніж у підлітків величинах ДО та УО. Не дивлячись на те, що артеріальна гіпоксемія у чоловіків була виражена в більшій мірі  $S_aO_2$  у них було майже таким як у підлітків (рис. 3.4, табл. 3.5). Високий ХОК забезпечував у чоловіків більшу  $q_aO_2$ . Підвищена можливість КТФК супроводжувалась у чоловіків більш високою, ніж у підлітків економічністю та ефективністю. Аналіз динаміки ХОК від спокою до МСК показав (рис. 3.7), що на невисоких навантаженнях ХОК у дорослих забезпечується в більшій мірі, ніж у підлітків, збільшення ЧСС, а при коло граничних та граничних навантаженнях як за рахунок збільшення ЧСС, так і за рахунок підвищення УО.

**Таблиця 3.5** – Показники гемодинаміки та дихальної функції крові у нетренованих підлітків (n=16) та чоловіків (n=16) при МСК

| Показники    | $\dot{Q}$<br>мл/хв | Q<br>мл | HR<br>скор./хв | $S_aO_2$<br>об.% | $C_{(a-v)}O_2$<br>об.% | $C_vO_2$<br>об.% | $S_aO_2$<br>% | $S_vO_2$ -<br>% |      |
|--------------|--------------------|---------|----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------|-----------------|------|
| Вікові групи |                    |         |                |                  |                        |                  |               |                 |      |
| ПІДЛІТКИ     | $\bar{x}$          | 20649,9 | 106,7          | 193,2            | 18,2                   | 7,32             | 10,9          | 88,9            | 35,6 |
|              | $m \pm$            | 613,6   | 2,32           | 5,4              | 0,36                   | 0,35             | 0,2           | 0,37            | 1,27 |
|              | s                  | 1735,7  | 6,57           | 15,3             | 1,0                    | 0,98             | 0,56          | 1,1             | 3,6  |
| ЧОЛОВІКИ     | $\bar{x}$          | 25300,0 | 137,3          | 186,0            | 18,1                   | 7,2              | 10,9          | 86,0            | 32,2 |
|              | $m \pm$            | 573,7   | 5,43           | 5,31             | 0,43                   | 0,81             | 0,6           | 1,63            | 4,53 |
|              | s                  | 1405,2  | 13,3           | 13,0             | 1,06                   | 1,98             | 1,48          | 3,99            | 11,1 |



**Рисунок 3.7** – Збільшення ХОК (—), УО (---) та ЧСС (----) в динаміці м'язової діяльності у нетренованих підлітків (▲) та нетренованих чоловіків (○). За 100% прийнятий рівень спокою

Порівняння параметрів зовнішнього дихання у осіб різного віку при МСК (табл. 3.6) також свідчить про те, що вони у чоловіків досягають більших величин. Підвищена легенева вентиляція, краще співвідношення АВ/ХОД призводять до того, що у чоловіків забезпечується надходження достатньої кількості кисню в легені та альвеоли. Можливості використання резервних об'ємів вдиху та видиху на фоні більш високої ЖЄЛ і забезпечують збільшення ДО, та зниження ЧД, що призводить до значно більшої, ніж у підлітків, економічності функції зовнішнього дихання на фоні великої його ефективності.

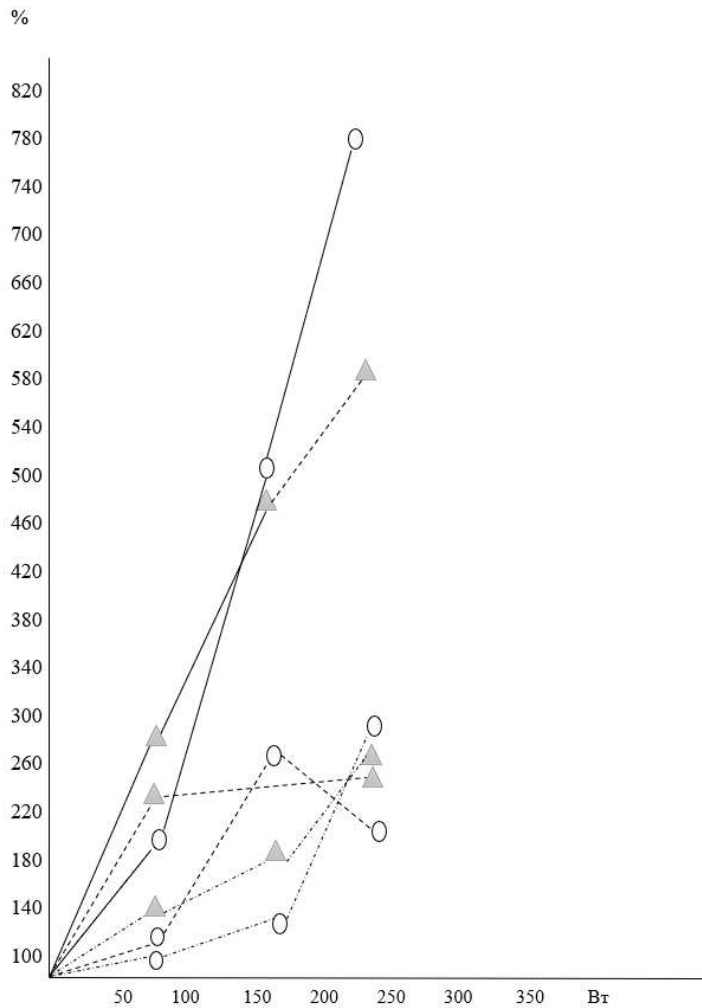
**Таблиця 3.6** – Показники зовнішнього дихання та газообміну у нетренованих підлітків (n=16) та чоловіків (n=16) при МСК

| Показники    | $\dot{V}_E$<br>мл/хв | $\dot{V}_A$<br>мл/хв | $\dot{V}_A / \dot{V}_E$<br>% | $V_T$<br>мл | f<br>дих/хв | RQ<br>ум.од. | $q_tCO_2$<br>мл/хв |        |
|--------------|----------------------|----------------------|------------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------------|--------|
| Вікові групи |                      |                      |                              |             |             |              |                    |        |
| ПІДЛІТКИ     | $\bar{x}$            | 71114,9              | 56650,8                      | 78,0        | 1758,6      | 41,1         | 1,21               | 2750,0 |
|              | $m \pm s$            | 3679,9               | 2500,3                       | 3,0         | 76,0        | 2,09         | 0,04               | 82,1   |
|              |                      | 10391,4              | 7072,0                       | 8,2         | 215,1       | 8,46         | 0,1                | 204,6  |
| ЧОЛОВІКИ     | $\bar{x}$            | 85300,0              | 71300,0                      | 84,0        | 2770,0      | 32,8         | 1,09               | 3021,0 |
|              | $m \pm s$            | 4454,5               | 4280,5                       | 0,03        | 225,2       | 3,68         | 0,11               | 36,7   |
|              |                      | 10911,2              | 10484,9                      | 0,08        | 551,6       | 9,03         | 0,2                | 98,6   |

Виконання однакової за потужністю роботи супроводжується у підлітків та чоловіків різною їх інтенсивністю (по відношенню до МСК). Так, якщо у підлітків при роботі 82 Вт інтенсивність навантаження склала 70% МСК, а у дорослих всього 30%; при 163 Вт у половини підлітків спостерігалось МСК, а у чоловіків воно наступило лише при роботі 245 Вт. При однаковій інтенсивності навантаження питома потужність роботи у підлітків не досягала рівня дорослих чоловіків. Менші величини питомої потужності роботи та  $q_tO_2$  при однаковій інтенсивності навантаження була зумовлена у підлітків обмеженими можливостями функціонування систем зовнішнього дихання та гемодинаміки, а також здатністю тканин утилізувати кисень, що доставляється. Поряд з вказаними відмінностями, РМК підлітків виявились менш ефективними та економічними.

Зміни ХОД, ДО та ЧД (рис. 3.8) в динаміці роботи показали, що у підлітків, на відміну від чоловіків, при навантаженні помірної інтенсивності збільшення ХОД забезпечується в більшій мірі за рахунок зросту ДО. При максимальних навантаженнях збільшувались як глибина, так і ЧД в однаковій

мірі, тоді як у чоловіків збільшення ДО грало більш важливу роль, ніж почастищення дихання.



**Рисунок 3.8** – Збільшення ХОД (—), ДО (---) та ЧД (----) в динаміці м'язової діяльності у нетренованих підлітків (▲) та нетренованих чоловіків (○). За 100% прийнятий рівень спокою

Отриманні дані вказують на те, що з віком при фізичній роботі, поряд із розширенням можливостей КТФК та зовнішнього дихання, збільшується потужність їх функціонування. Разом з цим зростає  $q_tO_2$  та  $q_lO_2$  і  $q_AO_2$ , прискорюється  $q_aO_2$ . Поряд з цим у чоловіків в більшій мірі, ніж у підлітків збільшується альвеолярно-артеріальний градієнт  $PO_2$ , а зниження  $PO_2$  в змішаній венозній крові призводить до збільшення альвеолярно-венозного та



повітряно-венозного градієнтів, що свідчить про те, що РМК у зрілому віці стає більш напруженим.

РМК чоловіків при динамічній м'язовій діяльності відрізняється від підлітків більш високим загальним рівнем каскадів швидкості поетапного пересування кисню в організмі, їх більшою економічністю та ефективністю, а також більшою їх напруженістю. Все це забезпечує зниження кисневої вартості та підвищення ККД виконуваної роботи.

### **3.2 Роль кисневої ємності крові в регуляції процесу масопереносу та утилізації кисню, розвитку гіпоксії навантаження**

В результаті представленого проведеного дослідження було проаналізовано різні варіанти змін окремих показників РМК. Нам вдалося дослідити роль одного з регуляторів КТФК, який суттєво впливає на постачання кисню до працюючих тканин. Таким виявилася КЄК, яка визначається вмістом гемоглобіну в крові.

Відомо [99, 100], що у стані спокою зниження КЄК на 20% порівняно з нормою майже повністю компенсується за рахунок посилення серцевої діяльності, внаслідок чого забезпечується необхідна доставка кисню органам та тканинам. Дані про те, які зміни процесу масопереносу та утилізації кисню викликає таке зниження при м'язовій діяльності в літературі обмежені та фрагментарні.

Нам надалась можливість перевірити правомочність отриманих при теоретичному аналізі результатів досліджень. Для цих цілей ми обстежили дівчат-підлітків 14-16 років, з яких 12 страждали на вторинну анемію внаслідок ювенільних кровотеч (концентрація Нв –  $10,9 \pm 0,76$  г %). Як контроль обстежено 14 здорових дівчат того ж віку (Нв -  $12,2 \pm 0,14$  г %).

Було виявлено, що в стані спокою у дівчат з вторинною анемією  $q_{tO_2}$  було підвищено, що очевидно було пов'язано з додатковими витратами енергії на підтримку вищого, ніж у здорових, ХОК відповідно ( $5,7+0,65 - 3,93\pm 0,12$  л/хв).

Робота виконувалася дівчатами обох груп за потужністю 50 Вт протягом 5 хв, інтенсивність навантаження була невисокою (приблизно 35-50% МСК). Обстеження показали, що кисневий запит на роботу у дівчат, які страждали на анемію, виявився на 30% вищим, ніж у здорових (рис. 3.9 а). Більшим у них був кисневий борг, затягнутим період відновлення споживання кисню. Навіть через 10 хв. після навантаження відмінності були достовірними.

Зниження вмісту Нв та КЄК справило значний вплив на весь процес масопереносу та утилізації кисню. Більш висока швидкість  $q_{tO_2}$  забезпечувалася підвищеною швидкістю його масопереносу кров'ю від легень до працюючих органів та тканин. В результаті, доставка кисню здійснювалася значно більшим ХОК, проте це досягалося переважно почастишанням серцевих скорочень (рис. 3.9). УО, розрахований відразу після навантаження, в обох групах був однаковим. У період відновлення ЧСС у дівчат з анемією була частішим, ніж у здорових.

Здавалося б, що для компенсації зниженої КЄК організму при м'язовій діяльності достатньо було збільшити лише об'ємний кровотік, але в процес компенсації залучилася і система зовнішнього дихання. Так, ХОД, АВ, та ЧД у дівчат з низькою КЄК були практично вищими на всіх етапах обстеження (рис. 3.9 в).

В результаті підвищеного ХОД збільшувалася швидкість надходження кисню до легень та альвеол (рис. 3.10 а). Це, на тлі високої швидкості кровотоку, сприяло масопереносу великих кількостей кисню з легень до крові, свідченнями чого були повніше використання кисню з повітря в легенях та високе  $P_aO_2$  в артеріальній крові.

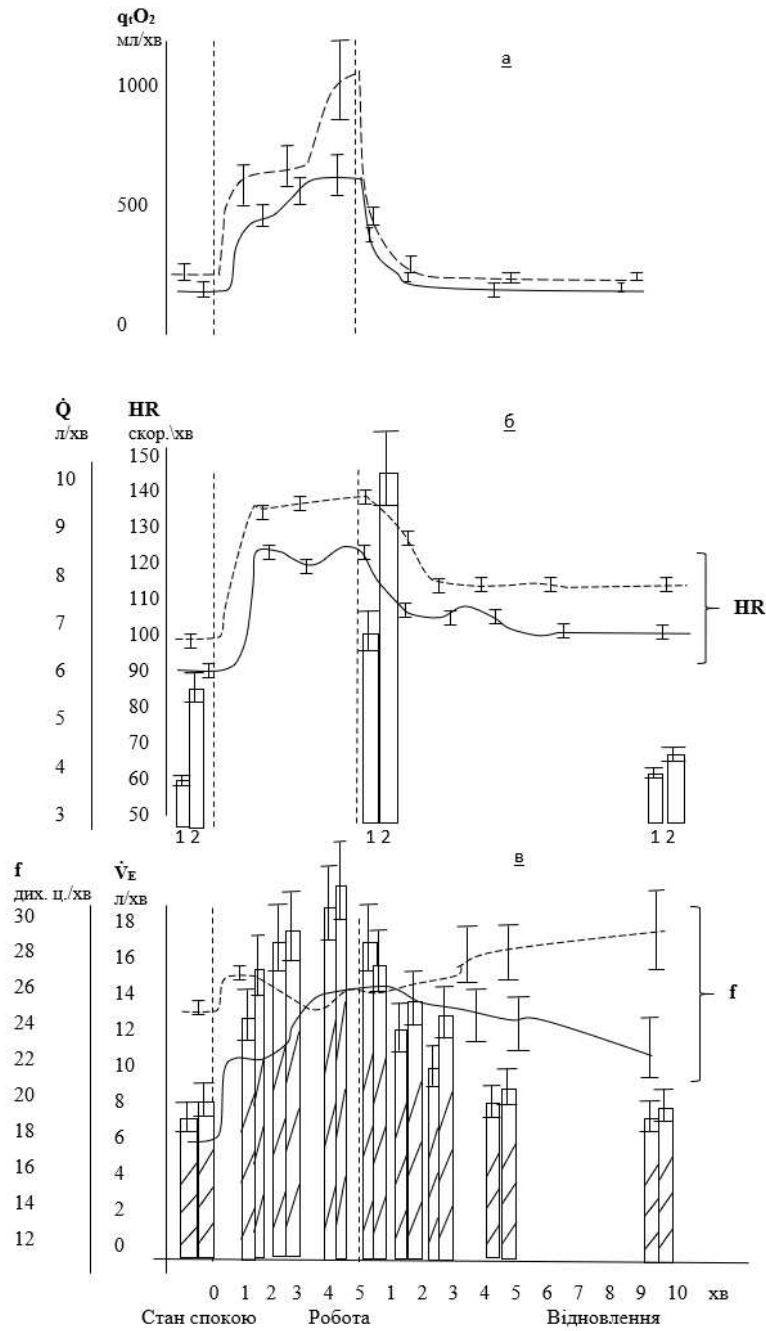
У зв'язку з тим, що у дівчат з анемією ХОД збільшувався більшою мірою, ніж у здорових, можна було припустити, що економічність функціонування

системи зовнішнього дихання щодо забезпечення організму киснем виявиться у них нижчою. Однак насправді це було не так. Аналіз отриманого матеріалу показав, що  $VE$  та  $q_tO_{2RC}$  у них були практично такими ж, як у здорових. Пояснюється це тим, що не лише вентиляція легень, а й  $q_tO_2$  були підвищеними. І лише  $HE$  вказував те що, що кожен літр спожитого кисню вилучався з достовірно більшої (на 6 л) кількості крові (табл. 3.7). Тобто, незважаючи на компенсацію з боку кровообігу, її ціна для організму виявилася високою.

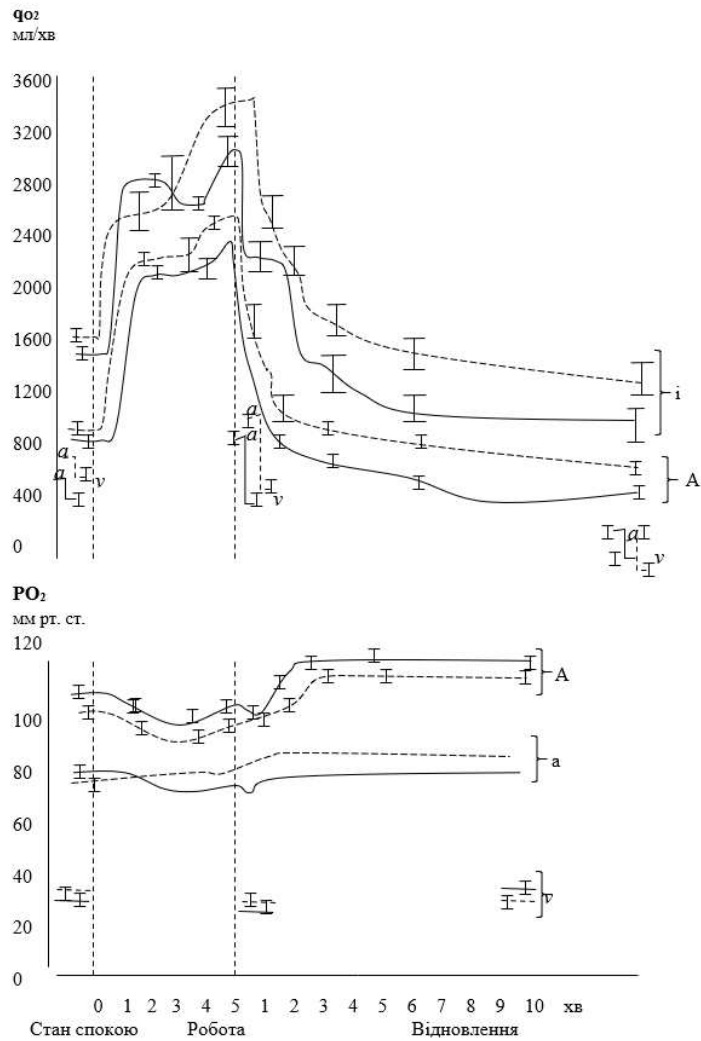
$P_AO_2$  практично на всіх етапах досліджень у анемічних дівчат був нижчим, хоча відмінності були недостовірними.  $P_aO_2$  у процесі навантаження та в період відновлення виявився дещо більш (недостовірно) високим. Тим не менш, альвеолярно-артеріальний градієнт  $PO_2$  у них був достовірно нижчим, ніж у здорових. Незважаючи на менший рівень  $P_AO_2$ , підтримання його більш високим в артеріальній крові можна пояснити кількома механізмами. По-перше, при такому ж як у контрольній групі відношенні вентиляція-перфузія умови для дифузії кисню могли бути сприятливими за рахунок більш повного включення в газообмін альвеол, що погано вентилюються, і кращої їх перфузії кров'ю. Суттєвішим може бути внесок іншого механізму: в результаті хронічних крововтрат могли наступити структурні зміни молекул гемоглобіну [101], що впливають на киснев'язувальні властивості і сприяють кращій оксигенації крові в легенях. Можлива участь і інших механізмів.

$P_{\bar{v}}O_2$  хоч і було у дівчат з анемією недостовірно меншим, в обох групах воно знижувалося не більше ніж на 10-12 мм рт. ст., що свідчило про невисоку інтенсивність навантаження.

У дівчат з низькою КЄК не забезпечується необхідна доставка кисню до посилено функціонуючих тканин, венозна гіпоксемія яскраво виражена. Збільшення  $PCO_2$  у крові деякою мірою додатково посилює метаболічний ацидоз.



**Рисунок 3.9** – Зміни  $q_t O_2$  (а), ЧСС та ХОК (б), ХОД, АВ та ЧД (в) при роботі та відновленні у дівчат з нормальною (1, —) та зниженою (2, ----) КСК



**Рисунок 3.10** – Зміна швидкості масопереносу кисню (а) та рівнів  $PO_2$  (б) при навантаженні у дівчат із нормальною (—) та зниженою (---) КЄК

**Таблиця 3.7** – Показники економічності дихання та кровообігу у дівчат з нормальною (n=14) (1) та зниженою (n=12) (2) КЄК до та відразу після навантаження

| Показники       | Момент визначення  | 1         | 2         | P     |
|-----------------|--------------------|-----------|-----------|-------|
| BE,<br>відн.од. | вих. стан          | 38,9±0,85 | 38,4±2,8  |       |
|                 | після навантаження | 24,1±1,17 | 27,4±1,4  | =0,05 |
| GE,<br>відн.од. | вих. стан          | 29,1±0,71 | 28,6±3,5  |       |
|                 | після навантаження | 12,7±0,53 | 18,7 ±2,1 | <0,05 |

Таким чином, отримані дані підтверджують результати теоретичних досліджень про роль кисневої ємності крові у регуляції процесу масопереносу та утилізації кисню при м'язовій діяльності. Тобто, в результаті зниження концентрації гемоглобіну при виконанні фізичних навантажень навіть невисокої інтенсивності зростає, порівняно з тим, що спостерігається зазвичай у здорових осіб, кисневий запит організму, збільшується киснева вартість роботи, більшим виявляється кисневий борг. При зниженні КЄК на 12-15% норми при навантаженнях помірної інтенсивності за рахунок збільшеного ХОК забезпечується необхідна доставка кисню, проте економічність гемодинаміки щодо постачання тканин та органів киснем різко знижується. При ще більшому зниженні кисневої ємності крові, як показали теоретичні розрахунки та результати безпосередніх досліджень, рівень гіпоксії навантаження зростає. Остання підтверджується венозною гіпоксемією.

### **Висновки до розділу 3**

Встановлено, що в стані спокою, вікові відмінності параметрів гемодинаміки та РМК майже не проявляються. В більшій мірі вони відмічаються при аналізі показників зовнішнього дихання, яке у підлітків виявилось менш економічним, ніж у дорослих.

Виявлено, що однакова за потужністю робота за інтенсивністю навантаження (%МСК) для підлітків та чоловіків була різною. Підлітки виконували роботу при більш високій інтенсивності споживання кисню. При цьому менші величини параметрів дихання та кровообігу, а також більш високі вентиляційний і гемодинамічний еквіваленти та менші ефекти дихального та серцевого циклів, поряд з більшою швидкістю поетапного переміщення кисню в організмі по відношенню до його споживання, свідчили

про гіршу ефективність та економічність КТФК та РМК підлітків. РМК підлітків при динамічній м'язовій діяльності відрізняється від підлітків зниженим загальним рівнем каскадів швидкості поетапного пересування кисню в організмі, їх меншою економічністю та ефективністю, а також більшою їх напруженістю. Все це забезпечує зниження кисневої вартості та підвищення ККД виконуваної роботи.

Показано, що у дівчат з низькою КЄК не забезпечується необхідна доставка кисню до посилено функціонуючих тканин, венозна гіпоксемія яскраво виражена. При цьому зростає кисневий запит організму, збільшується киснева вартість роботи, більшим виявляється кисневий борг. Всі ці ознаки свідчать про значний ступінь розвитку гіпоксії навантаження.

Результати роботи представлені у роботі автора [106, 107, 108, 109].

## РОЗДІЛ 4

### ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЯВУ ГІПОКСІЇ НАВАНТАЖЕННЯ У ПІДЛІТКІВ І ДОРΟΣЛИХ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТРЕНОВАНОСТІ ОРГАНІЗМУ, ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ФІЗИЧНОЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

#### 4.1 Вплив спортивного тренування на прояв гіпоксії навантаження у підлітків і дорослих

Згідно багаточисельним даним літератури відомо, що систематичні заняття спортом приводять до значних розширень функціональних можливостей організму, до розвитку його пристосувальних реакцій [102, 103, 104, 105].

За даними досліджень [107,110] ХОД у юних спортсменів зростає при м'язовій діяльності до значно більших величин, ніж у нетренованих і забезпечується при цьому більш глибоким диханням. Також підвищується ефективність зовнішнього дихання, покращується співвідношення АВ/МОД, зростає  $KU_L O_2$  та понижується VE [107,110].

На основі даних ряду авторів [111, 112, 113] можна прийти висновку про те, що спортивне тренування в підлітковому віці суттєво впливає на функціональні можливості кардіореспіраторної системи організму. В основному, дані вказаних авторів стосуються ЧСС. При навантаженнях помірної інтенсивності ЧСС у тренуваних підлітків нижче, ніж у нетренованих [114]. Даних про зміни УО та ХОК при фізичному навантаженні у підлітків під впливом спортивного тренування мало. Дані авторів наводять, що ХОК може збільшуватися до 28-30 л/хв, а УО до 150-170 мл [97, 115, 116]. Показано, що таке збільшення показників кровотоку залежить від спортивного досвіду та ступеня тренуваності підлітка. У зв'язку із збільшенням УО, у тренуваних підлітків більш високий  $q_t O_{2CC}$  [86].

Велику увагу авторів при дослідженні реакції організму підлітків на фізичне навантаження в різних видах спорту приділялось в основному







## Продовження таблиці 4.5

|          |           |         |       |        |       |      |        |      |      |       |
|----------|-----------|---------|-------|--------|-------|------|--------|------|------|-------|
| ПІДЛІТКИ | $\bar{x}$ | 8791,1  | 134,5 | 6885,5 | 105,2 | 79,1 | 7837,5 | 12,1 | 0,89 | 262,1 |
|          | $m \pm$   | 364,1   | 5,58  | 340,2  | 5,23  | 3,0  | 70,8   | 0,91 | 0,02 | 14,1  |
|          | $s$       | 1262,0  | 19,4  | 1076,0 | 16,5  | 7,8  | 200,2  | 5,57 | 0,08 | 39,8  |
| ЧОЛОВІКИ | $\bar{x}$ | 14089,9 | 189,5 | 10551  | 142,1 | 74,2 | 1001,0 | 14,5 | 0,88 | 351,0 |
|          | $m \pm$   | 1312,5  | 17,6  | 929,0  | 12,5  | 1,2  | 120,0  | 0,8  | 0,04 | 12,4  |
|          | $s$       | 3150,0  | 55,6  | 2388,0 | 39,4  | 3,1  | 880,0  | 2,5  | 0,11 | 27,9  |

Згідно з результатами наших досліджень було підтверджено, що з підвищенням працездатності у підлітків збільшується кисневий запит на роботу, а також здатність працювати в «борг» [114, 121, 122, 123].

**Таблиця 4.6** – Параметри РМК та показники їх економічності та ефективності у юних (n=16) та дорослих велосипедистів (n=16) [86] в стані спокою

| Показники | $q_i O_2$ |              | $q_A O_2$ |              | $q_{A'} O_2$ |              | $q_t O_2$ |              | $q_v O_2$ |              |      |
|-----------|-----------|--------------|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|------|
|           | мл/хв     | мл/хв.<br>кг | мл/хв     | мл/хв.<br>кг | мл/хв        | мл/хв.<br>кг | мл/хв     | мл/хв.<br>кг | мл/хв     | мл/хв.<br>кг |      |
| ПІДЛІТКИ  | $\bar{x}$ | 1504,0       | 23,2      | 1171,0       | 18,2         | 1118,0       | 16,7      | 302,0        | 4,64      | 814,0        | 12,6 |
|           | $m \pm$   | 68,4         | 1,22      | 63,8         | 1,07         | 50,5         | 1,0       | 15,6         | 0,29      | 38,6         | 0,73 |
|           | $s$       | 236,8        | 4,23      | 201,7        | 3,38         | 167,6        | 3,33      | 54,0         | 1,01      | 127,9        | 2,43 |

Продовження таблиці 4.6

|          |           |        |      |        |      |        |      |       |     |       |      |
|----------|-----------|--------|------|--------|------|--------|------|-------|-----|-------|------|
| ЧОЛОВІКИ | $\bar{x}$ | 2420,0 | 33,1 | 1791,1 | 24,5 | 1281,0 | 16,7 | 386,1 | 5,3 | 834,2 | 11,7 |
|          | $m \pm$   | 251,2  | 3,7  | 177,3  | 2,6  | 63,6   | 0,72 | 29,4  | 0,5 | 33,8  | 0,6  |
|          | $s$       | 795,3  | 11,8 | 561,7  | 8,3  | 201,0  | 2,3  | 90,8  | 1,5 | 107,1 | 1,9  |

| Показники | $KU_{T}O_2$<br>% | $q_{t}O_{2CC}$<br>мл $O_2$<br>за 1<br>с.п. | HE   | $KU_{L}O_2$<br>% | $q_{t}O_{2RC}$<br>мл $O_2$<br>за 1<br>д.п. | VE   | $\frac{q_{t}O_2}{q_{t}O_2}$ | $\frac{q_A O_2}{q_{t}O_2}$ | $\frac{q_a O_2}{q_{t}O_2}$ | $\frac{q\bar{v} O_2}{q_{t}O_2}$ |      |
|-----------|------------------|--|------|------------------|--|------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|------|
| ПІДЛІТКИ  | $\bar{x}$        | 27,1                                       | 3,89 | 20,4             | 19,6                                       | 27,3 | 26,8                        | 5,02                       | 3,74                       | 3,73                            | 2,74 |
|           | $m \pm$          | 1,22                                       | 0,37 | 1,1              | 0,61                                       | 3,39 | 1,07                        | 0,21                       | 0,15                       | 0,16                            | 0,17 |
|           | $s$              | 4,06                                       | 1,27 | 3,66             | 2,13                                       | 9,58 | 3,71                        | 0,74                       | 0,49                       | 0,58                            | 0,56 |
| ЧОЛОВІКИ  | $\bar{x}$        | 31,1                                       | 5,07 | 17,3             | 16,8                                       | 27,1 | 33,8                        | 6,37                       | 4,7                        | 3,3                             | 2,3  |
|           | $m \pm$          | 2,1  | 0,4  | 1,01             | 1,3  | 2,3  | 3,4                         | 0,65                       | 0,45                       | 0,23                            | 0,24 |
|           | $s$              | 6,7  | 1,2  | 3,2              | 4,1  | 7,5  | 10,9                        | 2,0                        | 1,4                        | 0,75                            | 0,75 |

В результаті спортивних тренувань у підлітків збільшується ефективність гемодинаміки у відношенні доставки кисню тканинам: кожен літр кисню у тренуваних підлітків вилучається із меншого, ніж у нетренуваних, кількості циркулюючої крові [114, 97]. Ці ж дослідження показали, що з розвитком органів дихання та кровообігу максимальна швидкість надходження кисню в легені, альвеоли, транспортування його артеріальною кров'ю у тренуваних підлітків помітно більша, ніж у їх нетренуваних

однолітків. В результаті збільшується  $KU_{T}O_2$ , відбувається зниження швидкості швидкості транспортування кисню змішаною венозною кров'ю та зменшується її «холостий струм».

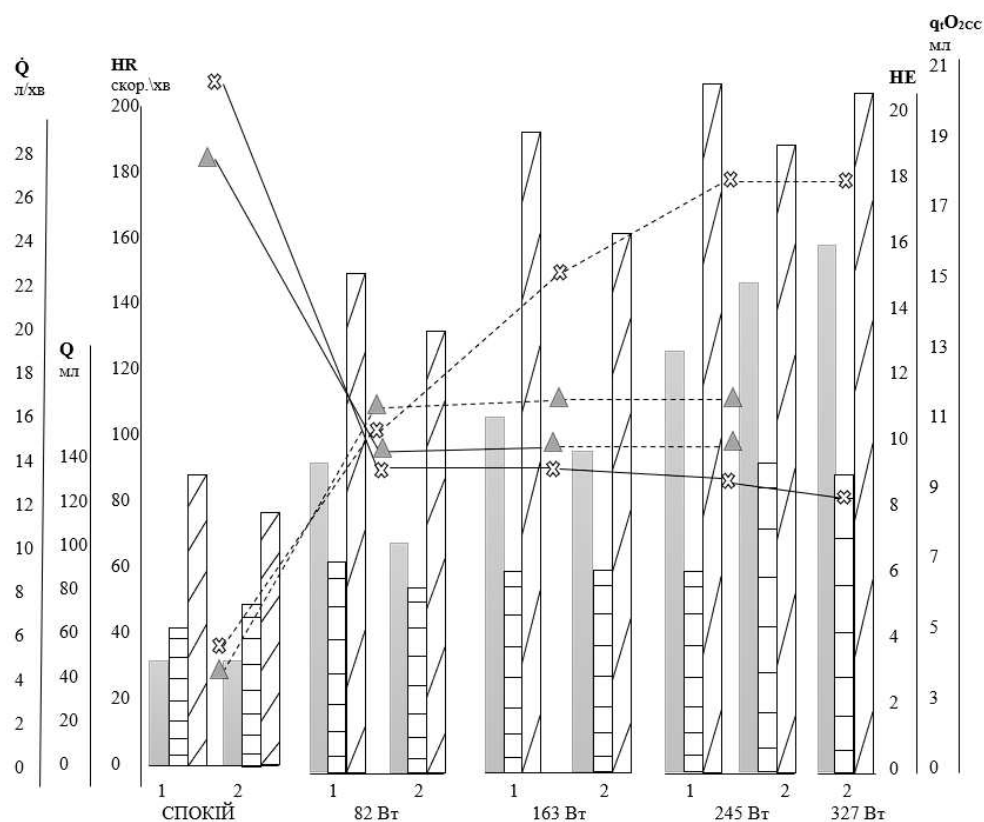
Дослідження змін в системі постачання організму кисню у підлітків під впливом занять веслуванням, гірськолижним спортом, важкою атлетикою, проведеними в дослідках А.З. Колчинською та інш. представлені в ряді робіт [114, 123, 119].

Однак специфіка визначення РМК підлітків під впливом занять велоспортом, який теж відноситься до циклічних видів, при якому система постачання організму киснем розвивається в більшій мірі, до сіх пір вивчена недостатньо. Даних про зміни РМК, їх ефективність та економічність у підлітків та дорослих, які займаються велоспортом, в літературі мало.

Відсутність таких досліджень спонукала нас до вивчення КТФК та РМК тренуваних підлітків, що займаються не менше двох років велоспортом, та порівняння їх з нетренованими однолітками при навантаженнях однакових як за потужністю, так і за інтенсивністю.

Суттєві відмінності у зміні КТФК та РМК тренуваних та нетренованих підлітків були виявлені при виконанні однакової за потужністю роботи (рис. 4.1). Робота потужністю 82 Вт супроводжувалась у юних велосипедистів більш низькою, ніж у нетренованих, швидкістю споживання кисню (1210,0 мл/хв або 18,1 мл/хв. кг), та забезпечувалась значно меншою швидкістю та інтенсивністю надходження кисню до легень (4242,0 мл/хв або 63,3 мл/хв. кг), альвеол (3260 мл/хв або 54,0 мл/хв. кг), транспортування його артеріальною кров'ю (2235,0 мл/хв або 33,5 мл/хв×кг). Більш високий, ніж у нетренованих підлітків,  $KU_{T}O_2$  (59,3%) у юних велосипедистів свідчить про більшу ефективність КТФК. Змішана венозна кров у велосипедистів при цьому менше містила кисню, ніж у нетренованих підлітків та менше несла кисню за 1 хв до легень. У юних велосипедистів, в порівнянні з нетренованими підлітками, знижене відношення між швидкістю просування кисню в організм і його

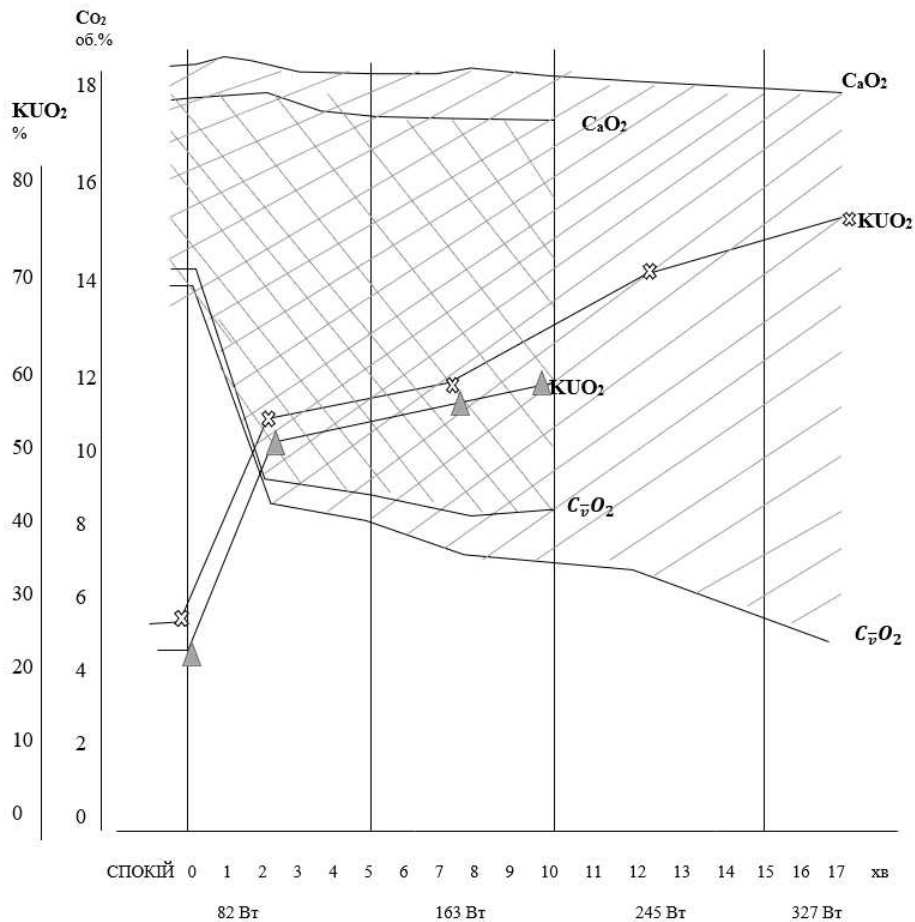
споживанням. Відповідно для легень – 3,5, швидкістю надходження в альвеол – 3,0, артеріальної крові – 0,85.



**Рисунок 4.1** – Зміни ХОК ( $\dot{Q}$ -■), УО (Q - ▣) та HR - (▣) у нетренованих підлітків (1) та юних велосипедистів (2) в стані спокою та під час роботи різної потужності. Суцільна лінія – HE, пунктирна –  $q_{tO_{2RC}}$ . Нетреновані підлітки -▲, юні велосипедисти -⌘

Все це свідчить про підвищену ефективність РМК юних спортсменів та про меншу кисневу вартість виконуваної механічної роботи. Більш низька швидкість поетапного пересування кисню в організмі забезпечувалась у них меншими ХОД (22,5 л/хв) та АВ (19,22 л/хв), а також меншим ХОК (11,8 л/хв). Не таке часте дихання (18 дих/хв) та серцеве скорочення (122 скор./хв), поряд з невисокою вентиляцією та кровотоком, сприяли тому, що РМК юних велосипедистів були більш економічними. За кожен дихальний цикл організм юних велосипедистів при виконанні роботи 82 Вт споживав 72,0 мл та за кожен серцевий цикл 10,0 мл кисню. Кожен літр кисню організмом юних

спортсменів вилучався з 18,7 літрів вентилюємого через легені повітря та 9,9 літрів крові, що циркулювало через тканини.



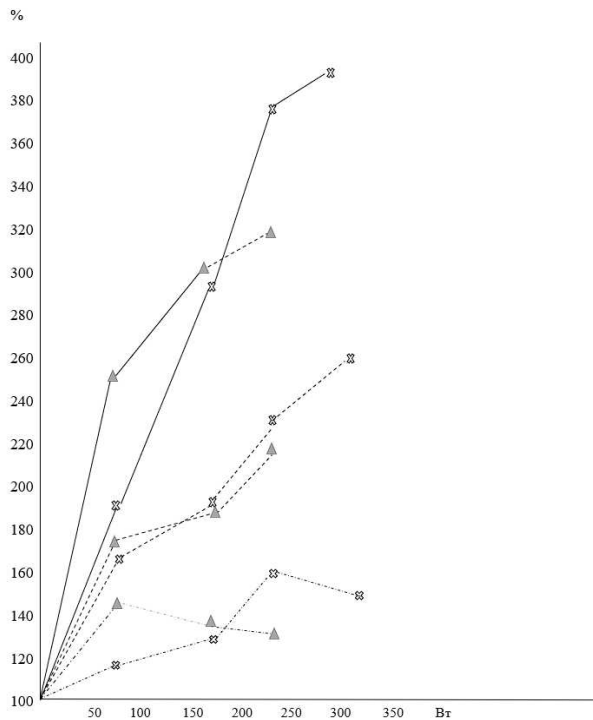
**Рисунок 4.2** – Динаміка змін  $C_aO_2$  та  $C_vO_2$  крові, а також  $KU_T O_2$  у нетренованих підлітків (▲) та юних велосипедистів (⌘) Під час роботи різної потужності. Заштриховані площі –  $C_{(a-v)}O_2$ :

\\\\ - нетреновані підлітки, /// - юні велосипедисти

У тренуваних підлітків, на відміну від нетренованих, виконання навантаження 82 Вт супроводжувалось більш низькою величиною  $PO_2$  в альвеолярному повітрі (96,0 мм рт. ст.) та вищим  $PO_2$  в артеріальній крові (79,1 мм рт. ст.).

Таким чином, виконання роботи 82 Вт проходило у юних спортсменів при меншій швидкості і інтенсивності споживання кисню, більш низькому

загальному рівні кисневих каскадів, при більшій їх ефективності та економічності (рис. 4.6).



**Рисунок 4.3** – Підвищення ХОК (—), УО (---) та ЧСС (----) в динаміці м'язової діяльності у нетренованих підлітків (▲) та юних велосипедистів (⊗). За 100% прийнятий рівень спокою

Слід відмітити, що робота 82 Вт для юних велосипедистів за інтенсивністю було значно меншою, ніж для їх нетренованих однолітків (близько 35% і відповідно - 70% МСК).

Ще більш значимі зміни в КТФК тренуваних підлітків були зареєстровані при роботі 163 Вт, яка за інтенсивністю для половини нетренованих підлітків була гранично виконуваною та супроводжувалась МСК, а для юних велосипедистів склала всього лише 70% МСК. Ця робота виконувалась тренуваними та нетренованими підлітками майже з однаковим  $q_tO_2$  в абсолютних величинах (рис. 4.6), хоча і забезпечувалась у юних спортсменів більш економічною діяльністю дихальної та, особливо, серцево-судинної системи. Вентиляційний еквівалент при навантаженні у юних велосипедистів склав 17,9, що було значно нижче, ніж у нетренованих.



Аналогічні зміни відбувались в HE. Він був у них також нижче (8,9,  $P < 0,05$ ). У тренуваних підлітків, в порівнянні з нетренуваними,  $q_tO_{2RC}$  (69,1 мл  $O_2$ ) та  $q_tO_{2CC}$  (12,8 мл  $O_2$ ) також були достовірно нижче.

**Таблиця 4.7** – Показники гемодинаміки та дихальної функції крові у нетренуваних підлітків ( $n=16$ ), чоловіків, та дорослих велосипедистів ( $n=16$ ) [86] під час роботи 109 Вт

| Показники                | $\dot{Q}$<br>мл/хв | Q<br>мл | HR<br>скор./х<br>в | $C_aO_2$<br>об.% | $C_{\bar{v}}O_2$<br>об.% | $C_{(a-\bar{v})}O_2$<br>об.% | $S_aO_2$<br>% | $S_{\bar{v}}O_2$<br>% |      |
|--------------------------|--------------------|---------|--------------------|------------------|--------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------|------|
| Вікові групи             |                    |         |                    |                  |                          |                              |               |                       |      |
| ПІДЛІТКИ                 | $\bar{x}$          | 19927,1 | 127,4              | 156,5            | 18,4                     | 7,9                          | 10,9          | 91,0                  | 39,5 |
|                          | $m \pm$            | 817,9   | 4,98               | 2,77             | 0,3                      | 0,32                         | 0,36          | 1,22                  | 1,85 |
|                          | $s$                | 2712,6  | 16,5               | 9,19             | 0,99                     | 1,05                         | 1,21          | 4,06                  | 6,13 |
| ЧОЛОВІКИ                 | $\bar{x}$          | 20045,0 | 126,4              | 159,2            | 18,1                     | 8,2                          | 9,84          | 91,6                  | 41,7 |
|                          | $m \pm$            | 677,5   | 4,88               | 2,52             | 0,45                     | 0,6                          | 0,35          | 1,34                  | 2,66 |
|                          | $s$                | 2247,0  | 16,2               | 8,35             | 1,56                     | 1,69                         | 1,17          | 4,64                  | 8,83 |
| ДОРΟΣЛІ<br>ВЕЛОСИПЕДИСТИ | $\bar{x}$          | 14072,2 | 110,0              | 127,1            | 18,9                     | 6,06                         | 12,9          | 93,0                  | 30,6 |
|                          | $m \pm$            | 537,1   | 5,9                | 4,7              | 0,54                     | 0,28                         | 0,44          | 0,68                  | 1,5  |
|                          | $s$                | 1823    | 15,2               | 15,2             | 1,46                     | 0,89                         | 1,39          | 2,1                   | 4,8  |

**Таблиця 4.8** – Показники зовнішнього дихання і газообміну у нетренуваних чоловіків ( $n=16$ ), та дорослих велосипедистів ( $n=16$ ) [86] під час роботи 109 Вт

| Показники    | $\dot{V}_E$<br>мл/хв | $\dot{V}_A$<br>мл/хв | $\dot{V}_A / \dot{V}_E$<br>% | $V_T$<br>мл | f<br>дих/хв | RQ | $q_tCO_2$<br>мл/хв |
|--------------|----------------------|----------------------|------------------------------|-------------|-------------|----|--------------------|
| Вікові групи |                      |                      |                              |             |             |    |                    |

Продовження таблиці 4.8

|                          |           |         |         |      |        |      |      |        |
|--------------------------|-----------|---------|---------|------|--------|------|------|--------|
| ПІДЛІТКИ                 | $\bar{x}$ | 53259,8 | 37880,1 | 73,1 | 2679,9 | 21,1 | 0,85 | 2121,0 |
|                          | $m \pm$   | 3997,0  | 2636,3  | 2,6  | 258,5  | 1,62 | 0,03 | 134,2  |
|                          | $s$       | 13258,0 | 8743,8  | 7,4  | 857,3  | 5,37 | 0,11 | 426,6  |
| ЧОЛОВІКИ                 | $\bar{x}$ | 52387,5 | 41932,0 | 79,3 | 1937,1 | 28,7 | 0,99 | 1561,0 |
|                          | $m \pm$   | 2347,0  | 1827,0  | 2,1  | 82,3   | 2,02 | 0,04 | 108,7  |
|                          | $s$       | 8129    | 5778    | 6,8  | 260,0  | 6,4  | 0,14 | 369,4  |
| ДОРΟΣЛІ<br>ВЕЛОСИПЕДИСТИ | $\bar{x}$ | 44284,9 | 32690,9 | 73,4 | 2042,7 | 0,88 | 0,88 | 1595,0 |
|                          | $m \pm$   | 2003,0  | 2152,1  | 1,01 | 194,8  | 0,08 | 0,03 | 95,6   |
|                          | $s$       | 6334,1  | 6807,8  | 2,5  | 309,9  | 0,1  | 0,1  | 299,7  |

Велика економічність та ефективність РМК юних спортсменів знаходить собі пояснення в розвитку механізмів, які забезпечують більш повну утилізацію кисню тканинами.  $KU_{T}O_2$  у тренуваних підлітків при даному навантаженні склав 61,2%, що було значно вище, ніж у нетренуваних. Артеріо-венозна різниця за киснем при цьому у нетренуваних досягала всього лише 10,5 об.%, тоді як у юних велосипедистів 11,6 об.%. ( $P < 0,05$ ). Більш висока, поряд з меншою швидкістю  $q_aO_2$ , яка у юних велосипедистів складала 3285,0 мл/хв, також свідчили про економічність КТФК. В той же час, така різниця привела до того, що венозна кров у спортсменів стала більш бідною киснем. Цей факт вказує на те, що можливість збільшення  $q_tO_2$  у нетренуваних підлітків лімітується не тільки меншою здатністю збільшувати постачання  $q_aO_2$  до тканин, але і меншими можливостями його утилізації. Не дивлячись на те, що  $q_aO_2$  у нетренуваних підлітків та юних велосипедистів збільшувалась, у

спортсменів стала менша та при роботі 163 Вт склала 7,4 об. % (рис. 4.2). При цьому юні велосипедисти усі повністю виконали дану роботу, а для половини нетренованих підлітків вона була максимальною за інтенсивністю. На відміну від нетренованих підлітків, які виконували деякий час роботу 245 Вт, вміст  $C_{(a-\bar{v})O_2}$  складав 7,32 об. %, тоді як юні спортсмени припинили роботу лише при роботі 327 Вт (2000 кГм/хв) та при 4,9 об. %.

При виконанні роботи 163 Вт у юних велосипедистів  $P_aO_2$  (74,0 мм рт. ст.) була дещо нижчою, ніж у нетренованих підлітків (23,0 мм рт. ст.) (рис. 4.13). Такі відмінності, не дивлячись на низький альвеолярно-артеріальний градієнт, вказували на те, що РМК у тих, хто займається велоспортом, став дещо більш напруженими, ніж у нетренованих.

**Таблиця 4.9** – Параметри РМК, показники їх економічності та ефективності у нетренованих підлітків (n=16) та чоловіків (n=16), та дорослих велосипедистів (n=16) [86] під час роботи 109 Вт

| Показники    | $q_iO_2$  |              | $q_AO_2$ |               | $q_aO_2$ |               | $q_tO_2$ |                  | $q_vO_2$ |               |      |
|--------------|-----------|--------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|------------------|----------|---------------|------|
|              | мл/хв     | мл/хв.<br>кг | мл/хв    | мл/хв<br>. кг | мл/хв    | мл/х<br>в. кг | мл/хв    | мл/<br>хв.<br>кг | мл/хв    | мл/х<br>в. кг |      |
| Вікові групи |           |              |          |               |          |               |          |                  |          |               |      |
| ПІДЛІТКИ     | $\bar{x}$ | 9213,6       | 128,0    | 6550,0        | 91,5     | 3662,7        | 49,6     | 2118,1           | 29,7     | 1553,6        | 21,4 |
|              | $m$       | 759,9        | 12,2     | 504,7         | 8,45     | 188,0         | 3,13     | 145,7            | 2,42     | 101,7         | 1,63 |
|              | $\pm$     |              |          |               |          |               |          |                  |          |               |      |
|              | $s$       | 2520,2       | 40,4     | 4674,0        | 28,0     | 623,6         | 10,4     | 483,4            | 8,04     | 337,5         | 5,4  |
| ЧОЛОВІКИ     | $\bar{x}$ | 9036,0       | 138,0    | 7184,0        | 111,2    | 3592,0        | 55,0     | 2054,0           | 31,7     | 1522,0        | 23,2 |
|              | $m$       |              |          |               |          |               |          |                  |          |               |      |
|              | $\pm$     | 450,0        | 6,6      | 341,5         | 5,16     | 109,4         | 1,37     | 117,9            | 1,92     | 76,3          | 1,09 |
|              | $s$       | 1559,0       | 22,9     | 1080,5        | 16,3     | 362,8         | 4,55     | 402,5            | 6,64     | 253,0         | 3,62 |

## Продовження таблиці 4.9

|                              |        |       |        |      |        |      |        |       |       |      |
|------------------------------|--------|-------|--------|------|--------|------|--------|-------|-------|------|
| $\bar{x}$                    | 7490,6 | 101,9 | 5563,0 | 75,4 | 2618,1 | 35,5 | 1793,2 | 829,1 | 829,1 | 11,2 |
| ДОРΟΣЛІ<br>ВЕЛОСИПЕД<br>ИСТИ |        |       |        |      |        |      |        | 1     |       |      |
| $m \pm$                      | 355,0  | 5,6   | 396,2  | 5,6  | 105,8  | 1,61 | 96,4   | 4,11  | 4,11  | 0,7  |
| $s$                          | 1124,2 | 17,8  | 1256,1 | 18,0 | 334,6  | 5,2  | 303,9  | 9,6   | 9,6   | 2,2  |

| Показники                | KU <sub>T</sub> O <sub>2</sub><br>% | q <sub>t</sub> O <sub>2CC</sub><br>мл O <sub>2</sub><br>за 1<br>с.п. | HE   | KU <sub>L</sub> O <sub>2</sub><br>% | q <sub>t</sub> O <sub>2RC</sub><br>мл O <sub>2</sub><br>за 1<br>д.ц. | VE   | $\frac{q_t O_2}{q_t O_2}$ | $\frac{q_A O_2}{q_t O_2}$ | $\frac{q_a O_2}{q_t O_2}$ | $\frac{q \bar{v} O_2}{q_t O_2}$ |
|--------------------------|-------------------------------------|--|------|-------------------------------------|--|------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Вікові групи             |                                     |  |      |                                     |  |      |                           |                           |                           |                                 |
| $\bar{x}$                | 55,5                                | 8,3  | 9,64 | 23,0                                | 106,9  | 22,9 | 4,34                      | 3,07                      | 1,74                      | 0,76                            |
| ПІДЛІТКИ                 |                                     |  |      |                                     |  |      |                           |                           |                           |                                 |
| $m \pm$                  | 2,78                                | 0,85   | 0,35 | 1,01                                | 10,7   | 0,98 | 0,18                      | 0,07                      | 0,06                      | 0,07                            |
| $s$                      | 9,21                                | 2,81   | 1,16 | 3,34                                | 35,4   | 3,25 | 0,6                       | 0,24                      | 0,21                      | 0,25                            |
| $\bar{x}$                | 55,1                                | 12,4   | 10,3 | 23,0                                | 78,4   | 23,9 | 4,47                      | 3,51                      | 1,86                      | 0,8                             |
| ЧОЛОВІКИ                 |                                     |  |      |                                     |  |      |                           |                           |                           |                                 |
| $m \pm$                  | 2,48                                | 0,62   | 0,37 | 1,38                                | 5,84   | 1,25 | 0,23                      | 0,21                      | 0,09                      | 0,07                            |
| $s$                      | 8,21                                | 2,06   | 1,21 | 4,79                                | 18,5   | 4,35 | 0,81                      | 0,65                      | 0,29                      | 0,24                            |
| $\bar{x}$                | 68,8                                | 14,4   | 7,8  | 24,4                                | 84,6   | 22,7 | 4,23                      | 3,11                      | 1,4                       | 0,48                            |
| ДОРΟΣЛІ<br>ВЕЛОСИПЕДИСТИ |                                     |  |      |                                     |  |      |                           |                           |                           |                                 |
| $m \pm$                  | 1,62                                | 1,1  | 0,26 | 0,67                                | 8,8  | 1,3  | 0,22                      | 0,18                      | 0,02                      | 0,03                            |
| $s$                      | 3,6                                 | 3,6  | 0,84 | 2,1                                 | 28,0   | 4,2  | 0,72                      | 0,57                      | 0,08                      | 0,1                             |



## Продовження таблиці 4.11

|                          |           |         |       |       |      |      |      |      |      |
|--------------------------|-----------|---------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| НЕТРЕНОВАНИ<br>ЧОЛОВІКИ  | $\bar{x}$ | 23288,2 | 120,2 | 195,0 | 17,9 | 7,08 | 10,8 | 87,9 | 37,3 |
|                          | $m \pm$   | 573,7   | 5,43  | 5,31  | 0,48 | 0,81 | 0,6  | 1,63 | 4,53 |
|                          | $s$       | 1405,2  | 13,3  | 13,0  | 1,06 | 1,98 | 1,48 | 3,99 | 11,1 |
| ЮНІ<br>ВЕЛОСИПЕДИСТИ     | $\bar{x}$ | 24163,0 | 130,0 | 186,4 | 17,6 | 6,6  | 10,9 | 86,7 | 32,4 |
|                          | $m \pm$   | 786,2   | 5,13  | 4,13  | 0,39 | 0,4  | 0,26 | 1,28 | 1,83 |
|                          | $s$       | 2607,0  | 17,0  | 11,3  | 1,34 | 1,33 | 0,88 | 4,43 | 6,08 |
| ДОРΟΣЛІ<br>ВЕЛОСИПЕДИСТИ | $\bar{x}$ | 22289,0 | 132,3 | 165,1 | 17,9 | 4,7  | 13,2 | 87,9 | 23,4 |
|                          | $m \pm$   | 895,2   | 6,1   | 3,4   | 0,5  | 0,3  | 0,53 | 1,3  | 1,6  |
|                          | $s$       | 2829,7  | 19,4  | 11,0  | 1,6  | 0,99 | 1,6  | 4,2  | 5,2  |

**Таблиця 4.12** – Показники зовнішнього дихання і газообміну у нетренованих чоловіків (n=16), юних (n=16) та дорослих велосипедистів (n=16) [86] під час роботи 218 Вт

| Показники               | $\dot{V}_E$<br>мл/хв | $\dot{V}_A$<br>мл/хв | $\dot{V}_A / \dot{V}_E$<br>% | $V_T$<br>мл | f<br>дих/хв | RQ   | $q_{tCO_2}$<br>мл/хв |        |
|-------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|-------------|-------------|------|----------------------|--------|
| Вікові групи            |                      |                      |                              |             |             |      |                      |        |
| НЕТРЕНОВАНИ<br>ЧОЛОВІКИ | $\bar{x}$            | 71316,5              | 52616,5                      | 74,3        | 2034        | 36,8 | 1,08                 | 2621,0 |
|                         | $m \pm$              | 4454,5               | 4280,5                       | 2,6         | 225,2       | 3,68 | 0,06                 | 154,1  |
|                         | $s$                  | 10911,2              | 10484,9                      | 7,8         | 551,6       | 9,08 | 0,14                 | 348,3  |

## Продовження таблиці 4.12

|                          |           |         |         |      |        |      |      |        |
|--------------------------|-----------|---------|---------|------|--------|------|------|--------|
| ЮНІ<br>ВЕЛОСИПЕДИСТИ     | $\bar{x}$ | 74937,5 | 57220,9 | 79,1 | 1854,6 | 42,0 | 1,17 | 2930,3 |
|                          | $m \pm$   | 3484,0  | 1737,0  | 2,1  | 161,2  | 2,83 | 0,05 | 89,7   |
|                          | $s$       | 12069   | 5761    | 7,9  | 509,7  | 8,95 | 0,17 | 314,4  |
| ДОРΟΣЛІ<br>ВЕЛОСИПЕДИСТИ | $\bar{x}$ | 75205,9 | 61139,1 | 81,2 | 2414,5 | 0,97 | 0,87 | 2749,2 |
|                          | $m \pm$   | 2672,0  | 2705,2  | 1,8  | 135,1  | 0,03 | 0,03 | 93,4   |
|                          | $s$       | 3450,6  | 8362,3  | 5,9  | 430    | 0,1  | 0,1  | 286,3  |

Разом з підсиленням КТФК, відбулася активізація функції зовнішнього дихання, що проявлялося в збільшенні ХОД до 73,2 л/хв, а з нею і  $q_iO_2$  до 12450 мл/хв (191,3 мл/хв. кг), хоча АВ/ХОД при даному навантаженні, в порівнянні з попереднім, знизилась до 80%, АВ зросла до 57,6 л/хв, а  $q_AO_2$  продовжувала збільшуватись до 9990,0 мл/хв (151,0 мл/хв. кг). Вже при такому навантаженні зовнішнє дихання у юних велосипедистів ставало менш економічним, ніж при роботі потужністю 163 Вт. Про це свідчить збільшення а до 23,0, більш низький  $KU_LO_2$  (23,2), а також більш високе відношення між швидкостями його просування в організмі і його  $q_iO_2$ .  $f$  у юних велосипедистів збільшилась до 38 дих.ц./хв та ДО до 1770,0 мл (рис. 4.4).

**Таблиця 4.13** – Параметри РМК та показники їх економічності та ефективності у нетренованих чоловіків (n=16), юних (n=16) та дорослих велосипедистів (n=16) [86] під час роботи 218 Вт

| Показники<br>Вікові групи | $q_iO_2$ |              | $q_AO_2$ |               | $q_aO_2$ |              | $q_tO_2$ |              | $q_vO_2$ |              |
|---------------------------|----------|--------------|----------|---------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|
|                           | мл/хв    | мл/хв×<br>кг | мл/хв    | мл/х<br>в.×кг | мл/хв    | мл/х<br>в×кг | мл/хв    | мл/хв<br>×кг | мл/хв    | мл/х<br>в×кг |

Продовження таблиці 4.13

|                              |           |         |        |             |       |        |      |        |      |        |       |
|------------------------------|-----------|---------|--------|-------------|-------|--------|------|--------|------|--------|-------|
| НЕТРЕНОВАНИ<br>ЧОЛОВІКИ      | $\bar{x}$ | 12340,0 | 167,0  | 9110,0      | 123,8 | 4135,0 | 56,1 | 2515,0 | 33,8 | 1453,3 | 19,7  |
|                              | $m$       | 848,0   | 14,0   | 826,6       | 13,0  | 128,6  | 3,23 | 145,8  | 1,84 | 132,7  | 2,49  |
|                              | $s$       | 2078,3  | 2078,8 | 2024,7      | 32,0  | 315,0  | 8,05 | 357,2  | 4,51 | 325,1  | 6,1   |
| ЮНІ<br>ВЕЛОСИПЕДИ<br>СТИ     | $\bar{x}$ | 11456,0 | 198,5  | 9767,9      | 151,6 | 4187,0 | 64,7 | 2617,0 | 40,3 | 1570,0 | 24,1  |
|                              | $m$       | 86,7    | 11,4   | 94,3        | 6,68  | 66,5   | 1,55 | 93,1   | 1,66 | 65,8   | 30,98 |
|                              | $s$       | 344,3   | 39,4   | 297,6       | 22,2  | 319,3  | 5,13 | 322,4  | 5,76 | 218,2  | 3,07  |
| ДОРΟΣЛІ<br>ВЕЛОСИПЕДИ<br>СТИ | $\bar{x}$ | 12819,2 | 174,3  | 10460,<br>4 | 127,1 | 3986,7 | 54,3 | 2956,1 | 39,9 | 1030,2 | 14,3  |
|                              | $m$       | 485,3   | 8,2    | 441,3       | 14,9  | 161,6  | 2,3  | 170,6  | 2,1  | 46,7   | 0,7   |
|                              | $s$       | 1533,6  | 26,1   | 1396,7      | 47,2  | 514,9  | 0,7  | 543,2  | 6,9  | 147,1  | 2,4   |

| Показники               | $KUO_2$      | $q_{tO_2CC}$             | HE   | $KUO_2$       | $q_{tO_2RC}$             | VE   | $\frac{q_i O_2}{q_t O_2}$ | $\frac{q_A O_2}{q_t O_2}$ | $\frac{q_a O_2}{q_t O_2}$ | $\frac{q\bar{v} O_2}{q_t O_2}$ |      |
|-------------------------|--------------|--------------------------|------|---------------|--------------------------|------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|------|
|                         | %<br>(ткані) | мл $O_2$<br>за 1<br>с.п. |      | %<br>(легені) | мл $O_2$<br>за 1<br>д.п. |      |                           |                           |                           |                                |      |
| НЕТРЕНОВАНИ<br>ЧОЛОВІКИ | $\bar{x}$    | 60,8                     | 13,6 | 9,4           | 20,6                     | 74,6 | 26,0                      | 4,95                      | 3,62                      | 1,67                           | 0,59 |
|                         | $m \pm$      | 3,86                     | 1,07 | 0,51          | 1,44                     | 10,6 | 1,59                      | 0,31                      | 0,24                      | 0,1                            | 0,07 |
|                         | $s$          | 9,45                     | 2,62 | 1,26          | 3,53                     | 26,1 | 3,9                       | 0,75                      | 0,59                      | 0,25                           | 0,18 |



## Продовження таблиці 4.13

|                          |           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ЮНІ<br>ВЕЛОСИПЕДИСТИ     | $\bar{x}$ | 62,1 | 14,1 | 9,3  | 20,5 | 66,1 | 26,2 | 4,92 | 3,84 | 1,59 | 0,61 |
|                          | $m \pm$   | 1,81 | 0,61 | 0,23 | 0,89 | 4,41 | 1,32 | 0,24 | 0,17 | 0,04 | 0,04 |
|                          | $s$       | 6,0  | 2,02 | 0,76 | 3,09 | 13,9 | 4,57 | 0,84 | 0,84 | 0,68 | 0,15 |
| ДОРΟΣЛІ<br>ВЕЛОСИПЕДИСТИ | $\bar{x}$ | 73,9 | 17,7 | 7,8  | 22,2 | 96,2 | 23,8 | 4,4  | 3,6  | 1,3  | 0,36 |
|                          | $m \pm$   | 1,7  | 1,1  | 0,3  | 0,99 | 7,6  | 0,96 | 0,2  | 0,12 | 3,2  | 3,5  |
|                          | $s$       | 5,6  | 3,5  | 1,1  | 3,1  | 24,1 | 2,98 | 0,6  | 0,37 | 0,1  | 0,11 |

**Таблиця 4.14** – Зміни  $PO_2$  у нетренованих чоловіків (n=16), юних (n=16) та дорослих велосипедистів (n=16) [86] під час роботи з потужністю 218 Вт

|           | $P_{AO_2}$    |               |        | $P_aO_2$      |               |        | $P_vO_2$      |               |        |
|-----------|---------------|---------------|--------|---------------|---------------|--------|---------------|---------------|--------|
|           | Нетр.<br>чол. | Велосипедисти |        | Нетр.<br>чол. | Велосипедисти |        | Нетр.<br>чол. | Велосипедисти |        |
|           |               | Підліт.       | Чолов. |               | Підліт.       | Чолов. |               | Підліт.       | Чолов. |
| $\bar{x}$ | 105,7         | 109,0         | 104,2  | 70,7          | 68,7          | 66,6   | 24,9          | 22,8          | 17,5   |
| $m \pm$   | 2,24          | 1,29          | 0,97   | 4,67          | 2,8           | 2,9    | 2,24          | 0,92          | 0,7    |
| $s$       | 5,47          | 4,42          | 3,1    | 11,4          | 9,69          | 9,2    | 5,46          | 3,1           | 2,2    |

Загальний рівень каскадів  $PO_2$  у юних велосипедистів майже не змінився, збільшилося лише  $P_{AO_2}$  (до 104,0 мм рт. ст. в порівнянні з 97 мм рт. ст. при попередній роботі), що призвело до збільшення  $P_A - P_aO_2$  та  $P_{AO_2} - P_aO_2$  та залишилась без змін, не дивлячись на зниження вмісту кисню., завдяки підвищенню температури крові на 1,5°C та зниженню рН до 7,2 (зрушення кривої дисоціації оксигемоглобіну вправо).

Зміна КТФК та РМК у юних велосипедистів при виконанні роботи 245 Вт вказують на подальше збільшення швидкості поетапної доставки та

споживання кисню. КТФК тренуваних підлітків при даному навантаженні характеризувалися підвищеною ефективністю та економічністю. На відміну від цього, функція зовнішнього дихання вже стала менш ефективною.

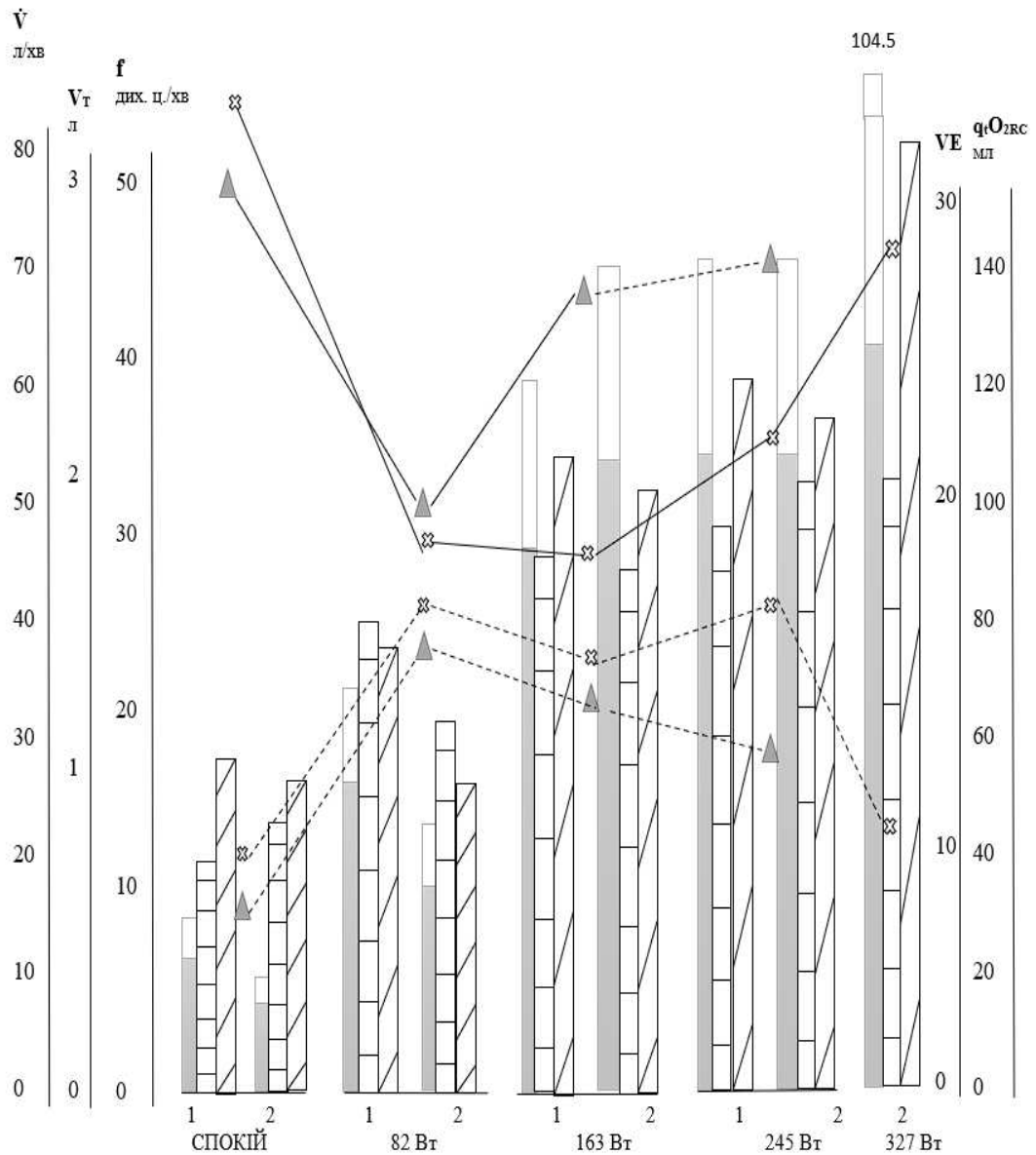
Ще більш значимі зміни в КТФК та РМК юних велосипедистів спостерігалися при роботі 327 Вт, яку вони виконували протягом 1,5-2,5 хв.

Дане навантаження за інтенсивністю було для юних велосипедистів максимальним, про що свідчили найвищі для них зареєстровані величини  $q_tO_2$  – 3200,0 мл/хв або 48,0 мл/хв.кг та максимальної питомої потужності виконуваної роботи – 5 Вт.  $q_tO_2$  свідчило про загально високий рівень поетапного пересування кисню в організмі, про кращі умови  $KU_T O_2$  (73,2%). Однак, ефективність та економічність РМК залишились майже не змінною, хоча економічність зовнішнього дихання трохи знизилась. Так,  $q_tO_{2CC}$  залишився тим самим, як при роботі потужністю 245 Вт (16,3 мл/хв), НЕ недостовірно знизився до 7,7. Відношення  $q_aO_2$  та  $q_vO_2$  також дещо знизились до 1,4 та 0,5 ( $P=0,05$ ).

Якщо КТФК ще в якійсь мірі здатна була забезпечити високий рівень ефективності та економічності РМК, то функція зовнішнього дихання при такому навантаженні у юних велосипедистів стала вже менш ефективною. VE підвищився до 29,5, а  $q_tO_{2RC}$  знизився до 59,7 мл  $O_2$ .  $q_iO_2/q_tO_2$  збільшилась до 5,5, а в альвеоли - до 4,0, що було вище, ніж при попередньому навантаженні ( $P<0,05$ ).

Поряд з такими змінами, РМК юних спортсменів при роботі 327 Вт стали більш напруженими, про що свідчило зниження  $P_vO_2$  до 21,0 мм рт. ст. При тому, що  $P_aO_2$  підвищився до 3 мм рт. ст.,  $P_aO_2$  майже не змінилась і склала 76 мм рт. ст. Альвеолярно-артеріальний градієнт зріс. Його збільшення було наслідком як збільшення швидкості кровотоку в легеневих капілярах, так і шунтування крові в легенях, додаванням до окисленої в легенях крові змішаної венозної крові із значно зниженим вмістом кисню [97].

Таким чином, при роботі 327 Вт, РМК юних велосипедистів характеризувалися високою швидкістю поетапного переміщення та споживання кисню тканинами та зниженням рівня. При цьому ефективність та економічність РМК юних велосипедистів вже дещо знизилась в порівнянні з роботою меншої потужності та інтенсивності.



**Рисунок 4.4** – Зміни  $\dot{V}_E$  -  $\square$ ,  $\dot{V}_A$  -  $\blacksquare$ ,  $V_T$  -  $\blacksquare$  та  $f$  -  $\square$  у нетренованих підлітків (1) та юних велосипедистів (2) в стані спокою та при виконанні роботи різної потужності. Суцільна лінія –  $VE$ , пунктирна –  $q\dot{O}_{2RC}$ .

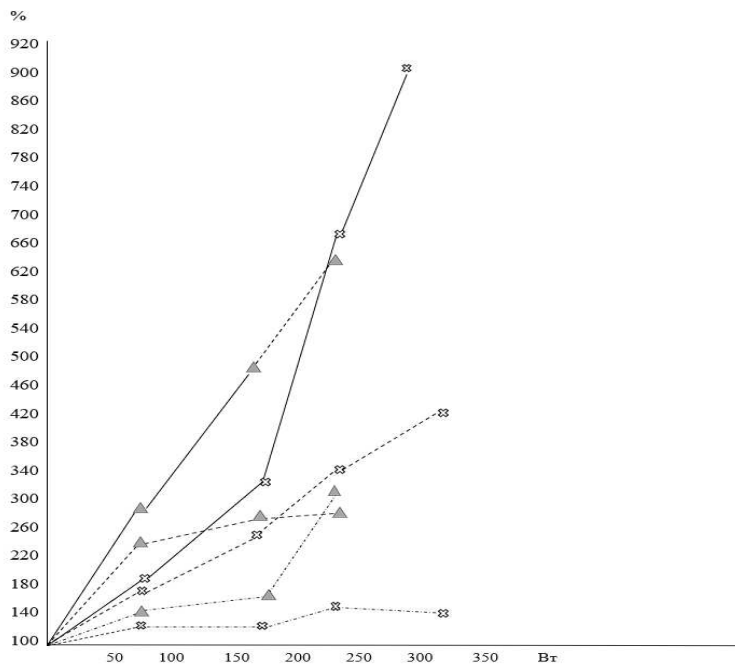
Нетреновані підлітки -  $\blacktriangle$ , юні велосипедисти -  $\boxtimes$

Порівнюючи зміни КТФК та РМК нетренованих підлітків та юних велосипедистів при навантаженні інтенсивності близько 70% МСК показали, що у юних велосипедистів виконання такої роботи супроводжувалось більшою, ніж у нетренованих підлітків, питомою потужністю (2,4 та 1,4 Вт). У юних спортсменів загальний рівень каскадів швидкості поетапного переміщення кисню в організмі, а також абсолютні та відносні величини  $q_tO_2$  були вищі. Висока швидкість доставки та  $q_tO_2$  в них забезпечувалась більшим посиленням функції системи дихання та кровообігу. При цьому важливо відмітити, що у юних велосипедистів ДО та УО збільшувались в більшій мірі, а ЧД та ЧСС- в меншій, ніж у нетренованих підлітків. У юних велосипедистів ХОД, АВ, ХОК збільшувались більше, ніж у нетренованих, в більшій мірі зростало відношення АВ/ХОД. Поряд з цим, дихання у юних велосипедистів відрізнялось більшою ефективністю, про що свідчать більш високі  $q_tO_{2RC}$  та коефіцієнт використання кисню в легенях, а також VE. Більш ефективною була і КТФК (низький HE використання кисню з артеріальної крові). Високий степінь  $KU_T O_2$ , більша артеріально-венозна різниця за киснем призводили до того, що у тренуваних підлітків  $P_V O_2$  була меншою, ніж у нетренованих. Функціонування гемодинаміки та серцевої діяльності стали більш економічними.

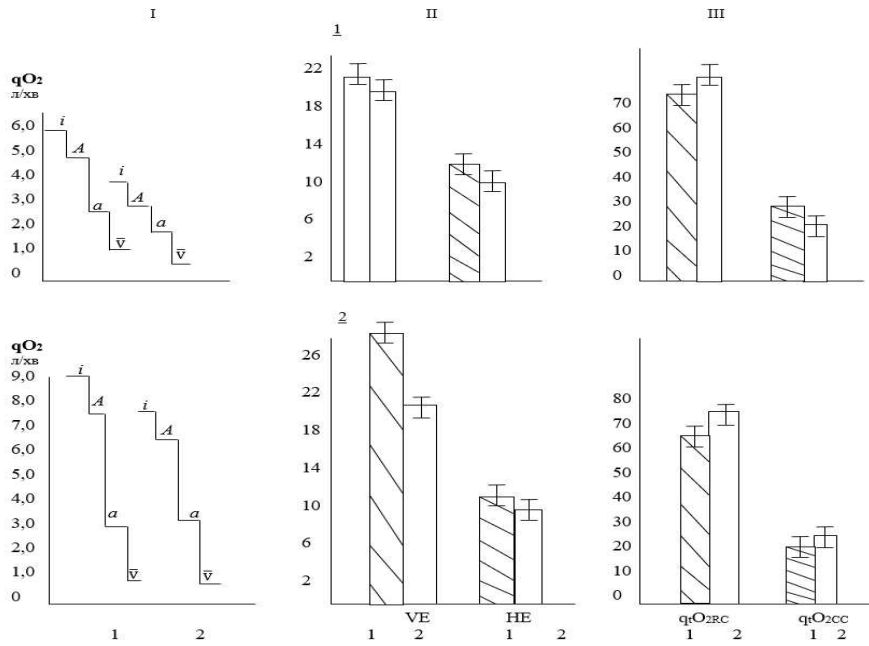
Вказані відмінності свідчили про те, що при виконанні роботи однакової інтенсивності (близько 70% МСК) юні велосипедисти розвивали більш питому потужність та велику інтенсивність  $q_tO_2$ , що забезпечувалось великим підсиленням  $q_iO_2$  та  $q_A O_2$ ,  $q_a O_2$  та кращим  $KU_T O_2$ . Це, у свою чергу, призводило до того, що РМК юних спортсменів при навантаженнях однакової з нетренованими підлітками інтенсивності стали більш економічними та ефективними, а киснева вартість роботи знизилась. Поряд з цим, РМК юних спортсменів виявились більш напруженими.

Для нетренованих підлітків виконання роботи 163 Вт супроводжувалось  $q_tO_2$ , рівним МСК, а у юних велосипедистів споживання кисню склало близько

90% МСК при 245 Вт. Порівняння показують, що при однаковій інтенсивності навантаження у тренуваних підлітків питома потужність виконуваної роботи була вище, ніж у нетрениваних. У зв'язку з цим виконання роботи супроводжувалось у юних велосипедистів більш високою  $\dot{V}O_2$  (2875,0 мл/хв) та інтенсивністю (43,4 мл/хв. кг). У них, при роботі 245 Вт ХОД був дещо вище, ніж у нетрениваних. Такий важливий показник, як відношення АВ/ХОД, у юних велосипедистів зростав до більших величин (80,2%). При ЧД 38 дих/хв, дихальний об'єм у спортсменів зріс до 1770 мл. Підвищення швидкості надходження кисню в альвеоли супроводжувалось у велосипедистів кращим використанням кисню в легенях (23,3%). Такі відмінності призвели до того, що у підлітків-спортсменів, швидкість надходження кисню була вище як до легень (12450 мл/хв або 191,3 мл/хв. кг), так і до альвеол (9990 мл/хв або 151 мл/хв. кг). Підвищилась ефективність зовнішнього дихання: для споживання кожного літру кисню у юних велосипедистів потрібно було на 2 л менше вдихуваного повітря, ніж у нетрениваних підлітків, а за кожен дихальний цикл кисню потрібно було на 16 мл більше.



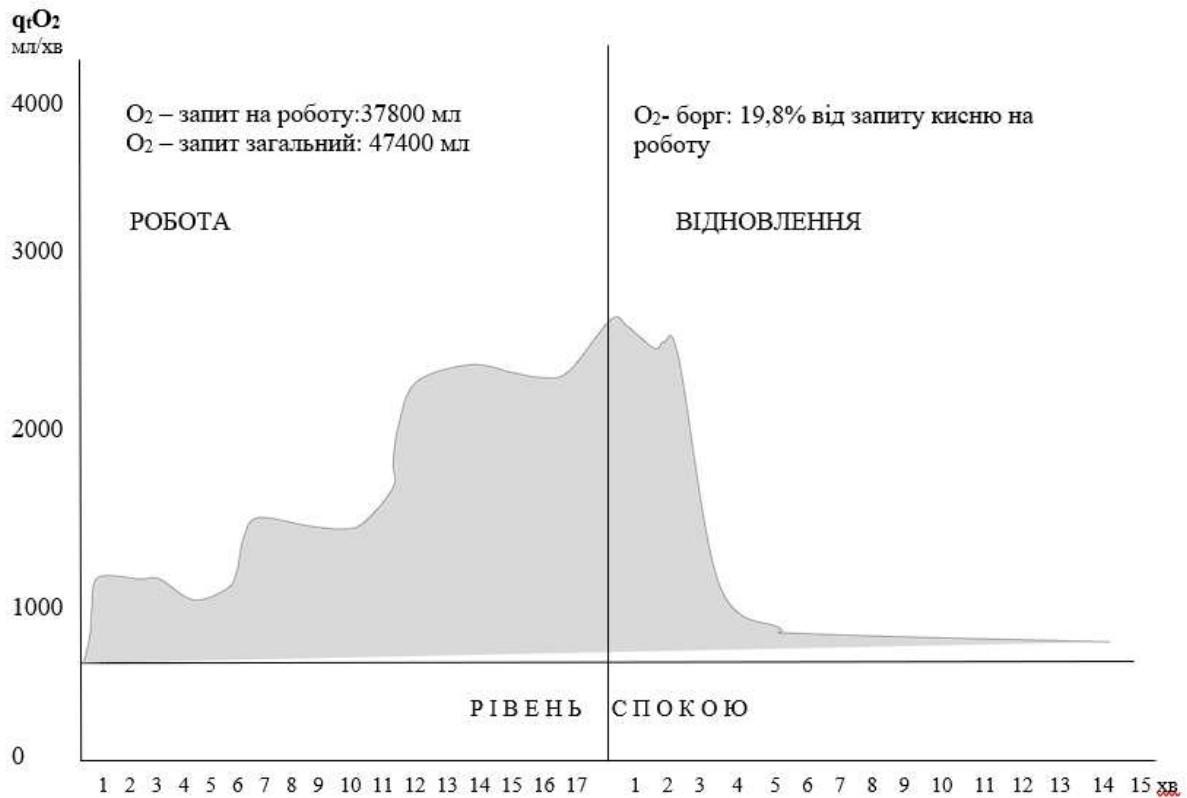
**Рисунок 4.5** – Підвищення ХОД (—), ДО (---) та ЧД (---) в динаміці м'язової діяльності у нетрениваних підлітків (▲) та юних велосипедистів (⊗) (за 100% прийнятий рівень спокою)



**Рисунок 4.6** – I- Каскади ( $q_{O_2}$ ) надходження кисню в легені ( $i$ ), альвеоли ( $A$ ), транспортування його артеріальною ( $a$ ) та зм. венозною кров'ю ( $\bar{v}$ ); II- показники економічності РМК – VE, HE, III- показники  $q_{tO_2RC}$  та  $q_{tO_2CC}$  у нетренованих (1) та тренуваних (2) підлітків під час роботи різної потужності 82 Вт (1) та 163 Вт (2)

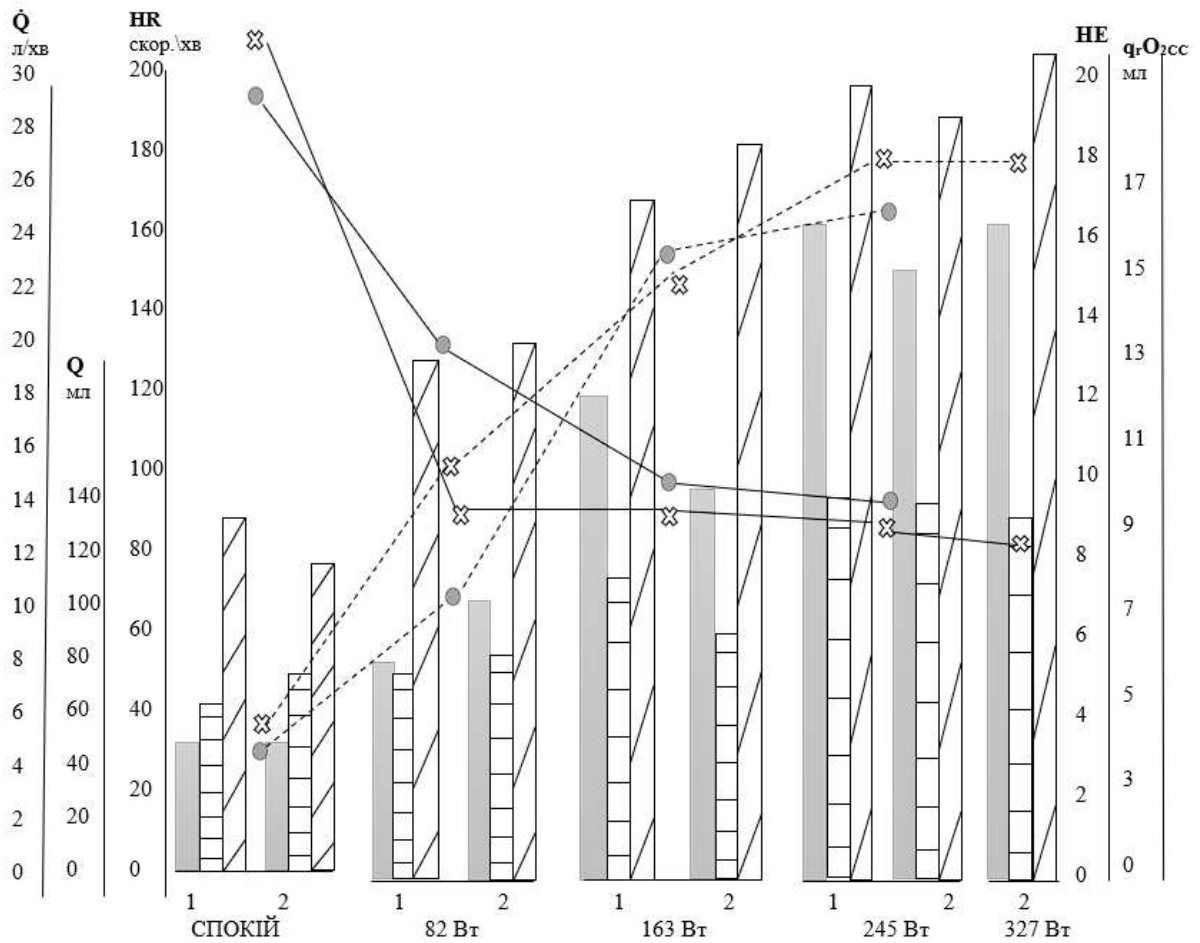
Поряд із значним посиленням ХОД та АВ, у юних велосипедистів також в більшій мірі підсилювався кровообіг. Хоча ЧСС практично мало відрізнялась, ХОК у юних спортсменів був більшим. Це може бути пояснено здатністю серця в більшій мірі збільшувати УО, який досягав у юних велосипедистів при навантаженні субмаксимальної інтенсивності 132 мл. Більше, ніж у нетренованих, збільшення ХОК сприяло тому, що у юних спортсменів артеріальна кров приносила тканинам більше кисню (4205 мл/хв або 63 мл/хв. кг). Разом з тим, ще в більшій мірі, ніж на попередньому навантаженні, у юних велосипедистів збільшувався ступінь  $KU_{T_{O_2}}$ .  $q_{vO_2}$  зросло до 12,6 об.% (рис. 4.9),  $C_{\bar{v}O_2}$  значно знизилося до 5,6 об.%.  $q_{\bar{v}O_2}$  склала 1280 мл/хв або 19,4 мл/хв×кг. Так як у юних спортсменів при інтенсивності

навантаження 90% МСК ЧСС була меншою, а УО був більшим, ніж у нетренованих,  $q_tO_{2CC}$  у них був більш високим (18,3 мл  $O_2$ ). При цьому кровотік у юних велосипедистів був більш ефективним у відношенні постачання тканин киснем (НЕ дорівнював 8,1, тоді як у нетренованих – 9,52).  $q_aO_2$  та  $q_{\bar{v}}O_2$  відносно  $q_tO_2$  знизилась на 0,25 та 0,3.



**Рисунок 4.7** – Динаміка зміни швидкості споживання кисню під час м'язової діяльності та в період відновлення у юних велосипедистів, які виконували роботу за схемою навантаження №2

$P_AO_2$  та  $P_aO_2$  у юних велосипедистів при навантаженні субмаксимальної інтенсивності, в порівнянні з нетренованими підлітками,  $P_{\bar{v}}O_2$  знизилась на 3 мм рт. ст. ( $P < 0,05$ ).



**Рисунок 4.8** – Зміни ХОК ( $\dot{Q}$ -■), УО ( $Q$ -▨) та ЧСС (HR -●) у нетренованих чоловіків (1) та юних велосипедистів (2) в стані спокою та під час роботи різної потужності. Суцільна лінія – HE, пунктирна –  $q_{rO_2RC}$ .

Нетреновані підлітки -●, юні велосипедисти -▨

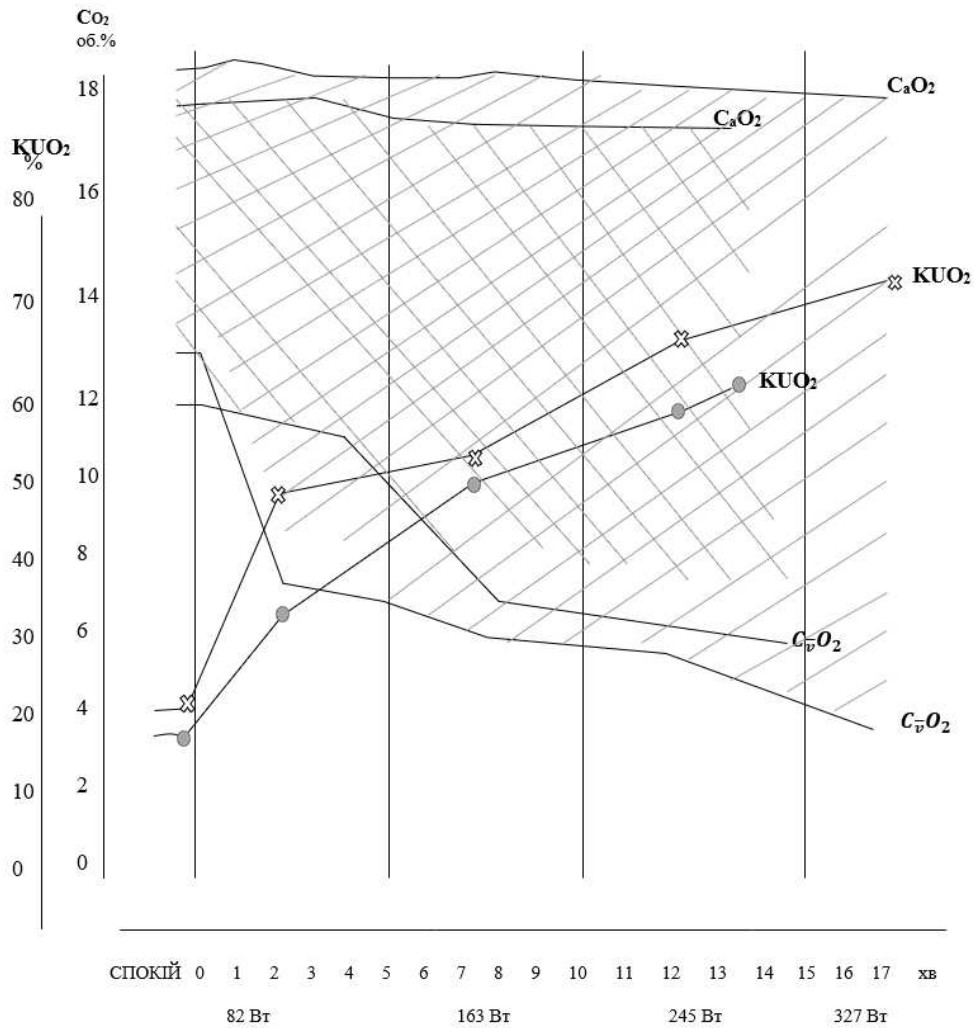
Таким чином, РМК юних велосипедистів, в порівнянні з нетренованими підлітками, при виконанні однакового за інтенсивністю навантаження (90% МСК) характеризувався більш високими величинами швидкості та інтенсивності споживання кисню, більшою його поетапною доставкою, підвищеними економністю та ефективністю.

МСК у юних велосипедистів було зареєстровано при роботі 327 Вт, тоді як у частини підлітків, які не займалися спортом, під час роботи 163 Вт, та тільки у деяких із них в першу хвилину роботи 245 Вт.



Величина МСК у юних велосипедистів майже на 1 літр була більшою, ніж навіть у тих підлітків, котрі досягли МСК при роботі 245 Вт, і склала 3200,0 мл/хв, а на 1 кг маси тіла – 48,0 мл/хв. Поряд з великою максимальною інтенсивністю споживання кисню, максимальна питома потужність роботи у тренуваних підлітків була вище (5 Вт), ніж у нетренуваних (4,2 Вт).

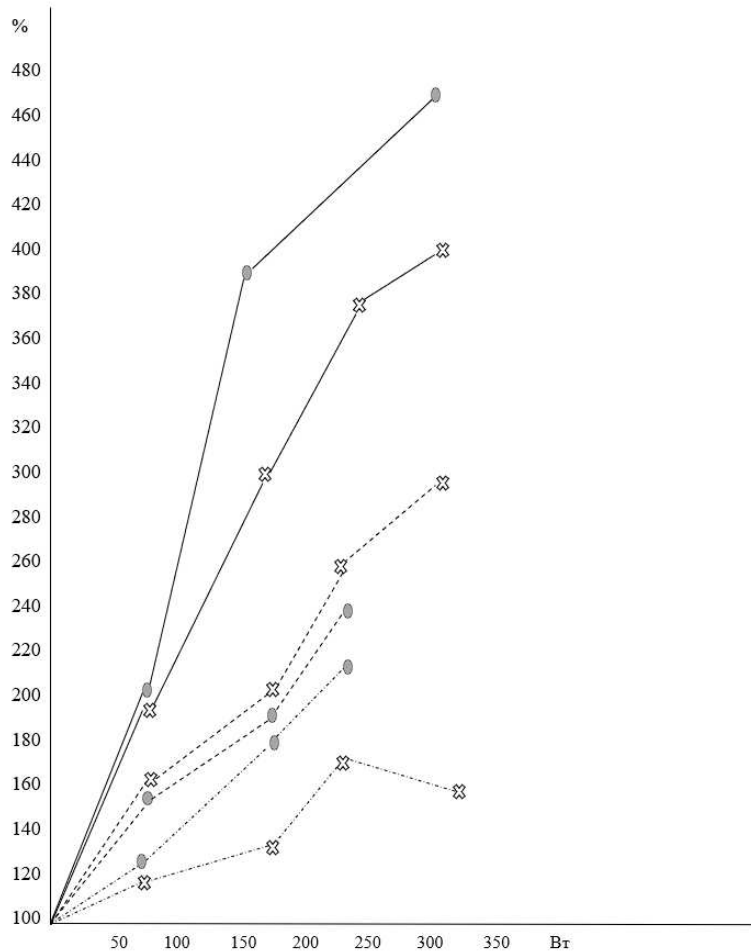
Більш високі питомі значення потужності та інтенсивності споживання кисню у юних велосипедистів призводили до значно більшого, в порівнянні з нетренуваними підлітками, збільшенню загального рівня РМК (рис. 4.12). У тренуваних підлітків при МСК в легені потрапляло на 5,5 л/хв, в альвеоли на 4,1 л/хв, а артеріальною кров'ю транспортувалось майже на 0,7 л/хв кисню більше, ніж у нетренуваних підлітків (рис. 4.13), що складало 17750 мл/хв або 266 мл/хв×кг, 13500 мл/хв або 173 мл/хв×кг та 4380 мл/хв або 65,6 мл/хв×кг кисню відповідно. Поряд з такою великою швидкістю надходження кисню в організм та доставки його тканинам, у тренуваних підлітків РМК при МСК були значно ефективнішими, ніж у нетренуваних:  $q_iO_2$ ,  $q_AO_2$  та  $q_aO_2$  перевищували швидкість  $q_tO_2$  в 5,5; 4,0; 1,4 рази.  $q_vO_2$  склала 37% від його  $q_tO_2$ .  $KU_TO_2$  у юних велосипедистів при МСК був значно вище (майже на 13%), ніж у нетренуваних, та склав 72,3% (табл. 4.3), при цьому вище була і  $C_{(a-v)}O_2$  (13,2 об.%). Високий ступінь  $KU_TO_2$  приводив до значної десатурації змішаної венозної крові. У спортсменів її насиченість киснем знизилась до 23,6% (у нетренуваних – до 35,6%, а вміст в ній кисню – до 4,4 об.% (у нетренуваних – 4,9 об.%). , таким чином, у юних велосипедистів  $q_vO_2$  майже на 300 мл/хв була меншою, ніж у нетренуваних підлітків та склала 1180 мл/хв або 17,7 мл/хв×кг. Вказана різниця у тренуваних та нетренуваних підлітків при МСК свідчила про те, що МСК у нетренуваних підлітків обмежувалось, поряд з невисокою швидкістю доставки кисню, меншими можливостями його утилізації тканинами.



**Рисунок 4.9** – Динаміка зміни  $C_aO_2$  та  $C_vO_2$ , а також  $KU_{T}O_2$  у нетренованих підлітків ( $\bullet$ ) та чоловіків ( $\otimes$ ) під час роботи різної потужності.

Заштриховані площі –  $C_{(a-v)}O_2$ :  $\backslash\backslash\backslash$  - нетреновані чоловіки,  $\text{///}$  - юні велосипедисти

Більш ефективні вентиляція та кровотік у юних велосипедистів свідчили про більшу, ніж у нетренованих підлітків, економічність РМК, а кисневі ефекти дихального та серцевого циклів у них були вище (табл. 4.3). При майже однаковому  $VE$  ( $P>0,04$ ),  $HE$  у них був значно вище, ніж у підлітків, які не займалися спортом (7,7).



**Рисунок 4.10** – Підвищення ХОК (—), УО (---) та ЧСС (----) в динаміці м'язової діяльності у нетренованих чоловіків (●) та юних велосипедистів (⊗) За 100% прийнятий рівень спокою

Більш високий рівень каскадів поетапної доставки кисню досягався за рахунок значно більшої можливості збільшувати легеневу (до 105,5 л/хв) та альвеолярну (до 78,9 л/хв) вентиляцію, ХОК (до 24,4 л/хв). При цьому і вентиляція і кровотік у юних спортсменів забезпечувалися як високою ЧД (до 56 дих/хв) та ЧСС (до 196 скор./хв), так і великими ДО (1760 мл) та УО (125 мл) (табл. 4.1, 4.2).

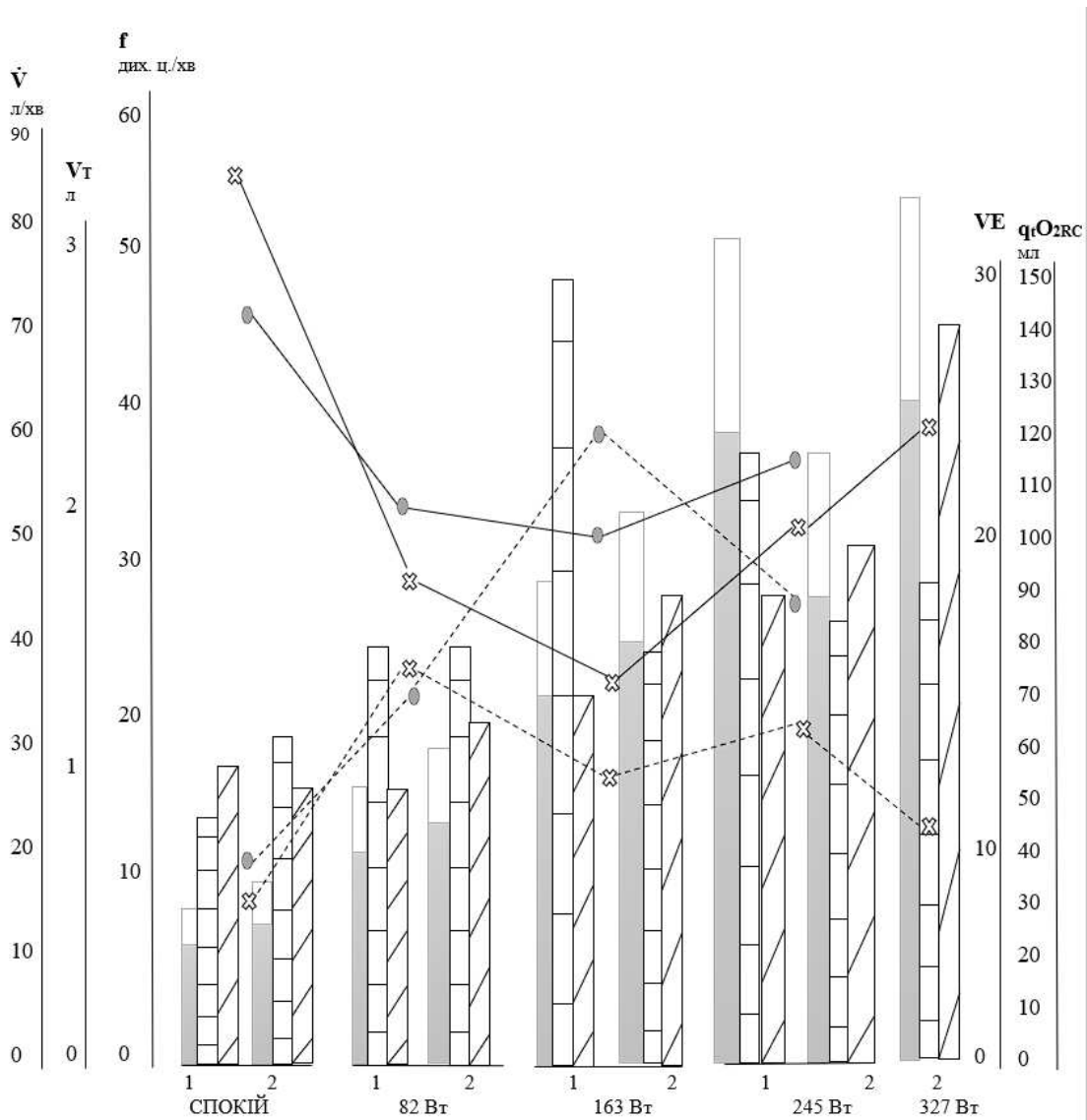
При МСК  $P_{A}O_2$  у всіх підлітків, незалежно від тренованості був майже однаковим (близько 110 мм рт. ст.), але  $P_aO_2$  артеріальної крові у юних велосипедистів був вище майже на 5 мм рт. ст. та склав 76 мм рт. ст.  $P_vO_2$  по мірі тренованості знижувалась (у тренованих до 21 мм рт. ст.), що вказувало

на більш низький, в порівнянні з нетренованими підлітками, критичний рівень  $\text{PO}_2$  для м'язової тканини.

Таким чином, в підлітковому віці, в результаті занять спортом підвищується не тільки МСК, але і економічність та ефективність КТФК та РМК, що поряд з великою максимальною питомою потужністю виконуваної роботи та іншими факторами, зумовлює підвищення ККД, зниження кисневої вартості максимально виконуваної роботи та підвищення працездатності.

РМК юних велосипедистів за потужністю, інтенсивністю, ефективністю та економічністю при виконанні фізичних навантажень значно наближуються до РМК нетренованих чоловіків та в окремих випадках навіть перевищують їх.

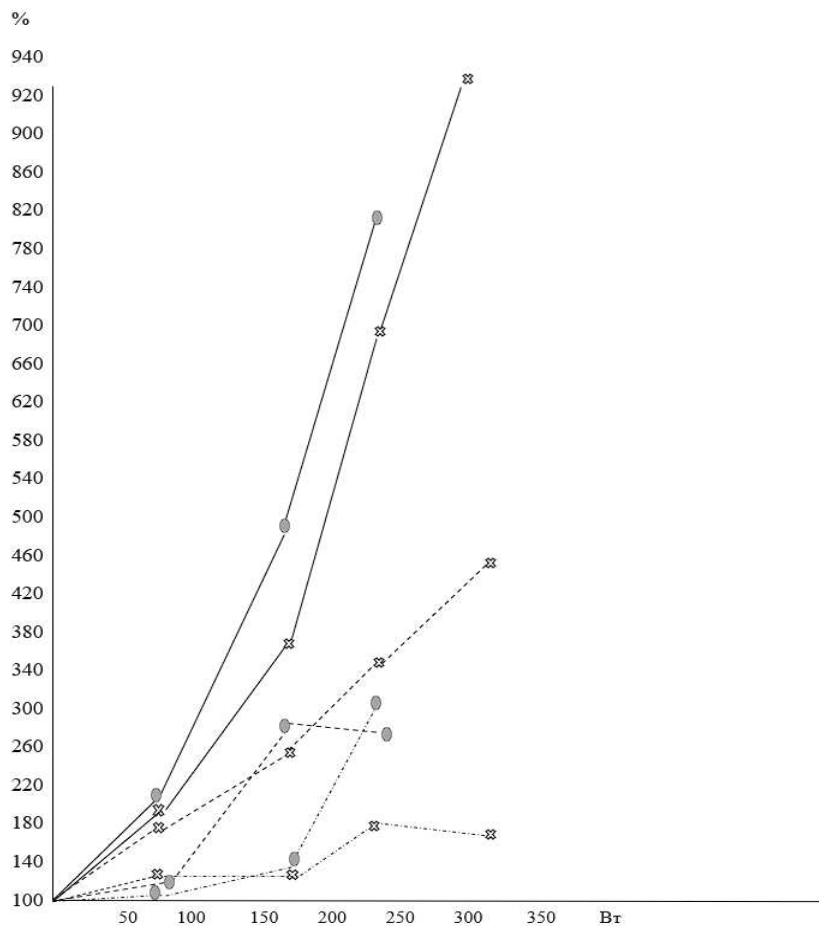
При порівнянні КТФК та РМК юних велосипедистів та нетренованих чоловіків при однаковій за потужністю роботі виявилось, що робота 82 Вт для чоловіків та юних велосипедистів за інтенсивністю була майже однаковою (для чоловіків 30% МСК, а для підлітків 37% МСК), але супроводжувалась у юних велосипедистів дещо більшою швидкістю та інтенсивністю поетапного пересування кисню та його споживання. Дещо висока поетапна доставка кисню супроводжувалась у тренуваних підлітків більшою економічністю РМК, про що свідчили підвищенні  $q_t\text{O}_{2\text{RC}}$ ,  $q_t\text{O}_{2\text{CC}}$  та низькі VE та HE (рис. 4.5, 4.9, 4.11). Поряд з підсиленням швидкості доставки кисню працюючим органам (рис. 4.13),  $\text{KU}_T\text{O}_2$  у юних велосипедистів при такій інтенсивності навантаження був більш низьким.



**Рисунок 4.11** – Зміни ХОД ( $V_E$  □) та АВ ( $V_A$  ■), ДО ( $V_T$  ▤) та ЧД ( $f$  □) у нетренованих чоловіків (1) та юних велосипедистів (2) в стані спокою та під час роботи різної потужності. Суцільна лінія –  $\dot{V}E$ , пунктирна –  $\dot{q}O_{2RC}$ . Нетреновані підлітки - ●, юні велосипедисти – ✕

Наступна робота, потужністю 163 Вт, для юних спортсменів за інтенсивністю була дещо меншою, ніж для чоловіків (65% та 75% МСК), хоча питома потужність у них зросла в більшій мірі. У підлітків вона склала 2,4 Вт, у нетренованих чоловіків – 2,2 Вт. У юних велосипедистів інтенсивність  $\dot{q}O_2$  була такою ж, як і у чоловіків. Менші ХОД та ХОК зумовлювали у юних велосипедистів менші  $\dot{q}iO_2$ ,  $\dot{q}_A O_2$ ,  $\dot{q}_a O_2$ . Меншими у них також були ДО та УО,

а також  $q_tO_{2RC}$  та  $q_tO_{2CC}$ . Однак  $VE$  та  $HE$  у юних спортсменів були меншими. При даних навантаженнях РМК були більш ефективними у юних велосипедистів. У осіб порівнювальних груп  $PO_2$  на різних етапах шляху кисню в організмі відрізнялась. Так,  $P_AO_2$  у юних велосипедистів на 5 мм рт. ст. було нижче, ніж у нетренованих чоловіків, а  $P_aO_2$  на 14 мм рт. ст..  $P_vO_2$  при даному навантаженні у них було практично однаковим (22,6 та 23,0 мм рт. ст.). Різні  $PO_2$  в альвеолярному повітрі та артеріальній крові, більш високі альвеолярно-артеріальний (табл. 4.19) та альвеолярно-венозний градієнти кисню та більш низький у чоловіків артеріо-венозний градієнт свідчили про те, що РМК чоловіків в цих умовах були більш напруженими.



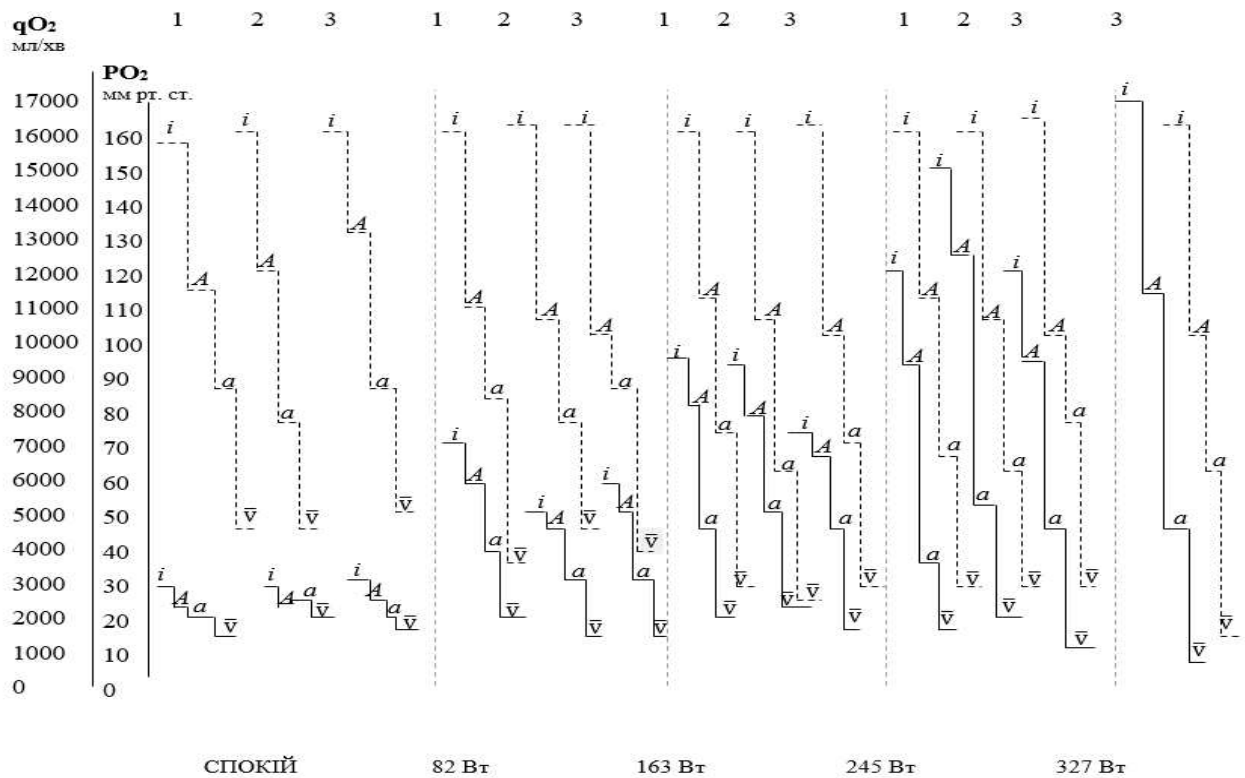
**Рисунок 4.12** – Підвищення ХОД (—), ДО (---) та ЧД (---) в динаміці м'язової діяльності у нетренованих підлітків (●) та юних велосипедистів (⊗).

За 100% прийнятий рівень спокою

Таким чином, киснева вартість виконуваної зовнішньої механічної роботи у юних спортсменів була меншою, а ККД - більш високим.

Юні велосипедисти і нетреновані чоловіки виконували роботу потужністю 245 Вт, однак тривалість виконання та інтенсивність навантаження для них були різними. Якщо для чоловіків це навантаження було максимальним та тривало в середньому близько 4-х хвилин, то для юних велосипедистів воно склало тільки 90% МСК. Питома потужність такої роботи для тренованих підлітків склала 3,6 Вт, а для нетренованих чоловіків 3,4 Вт. При виконанні даної роботи абсолютна величина  $q_{tO_2}$  була практично однаковою (2803 мл/хв та 2875 мл/хв), але інтенсивність у юних спортсменів виявилась більшою в середньому на 3,2 мл/хв×кг.

Як і при попередньому навантаженні, юні велосипедисти виконували роботу при більш низьких величинах швидкості та інтенсивності просування кисню в організмі, що забезпечувалось меншими величинами ХОД та ХОК, але при підвищенні ефективності та економічності РМК, та кращій утилізації кисню з циркулюючої крові.



**Примітка.\*** – роботу 245 Вт виконали лише 50% досліджуваних нетренованих підлітків.

**Рисунок 4.13** – Каскади швидкості ( $qO_2$  – суцільна лінія) надходження кисню в легені (i), альвеоли (A), транспортування його артеріальною (a) та змішаною венозною ( $\bar{V}$ ) кров'ю та каскади парціального тиску  $O_2$  ( $PO_2$  – пунктирна лінія) у нетренованих підлітків (1), чоловіків (2) та юних велосипедистів (3) в спокої та при різній потужності роботи

При більшій ефективності та економічності РМК, киснева вартість роботи 245 Вт у юних велосипедистів була нижче, а ККД - вище, тобто так само, як при виконанні роботи 163 Вт.

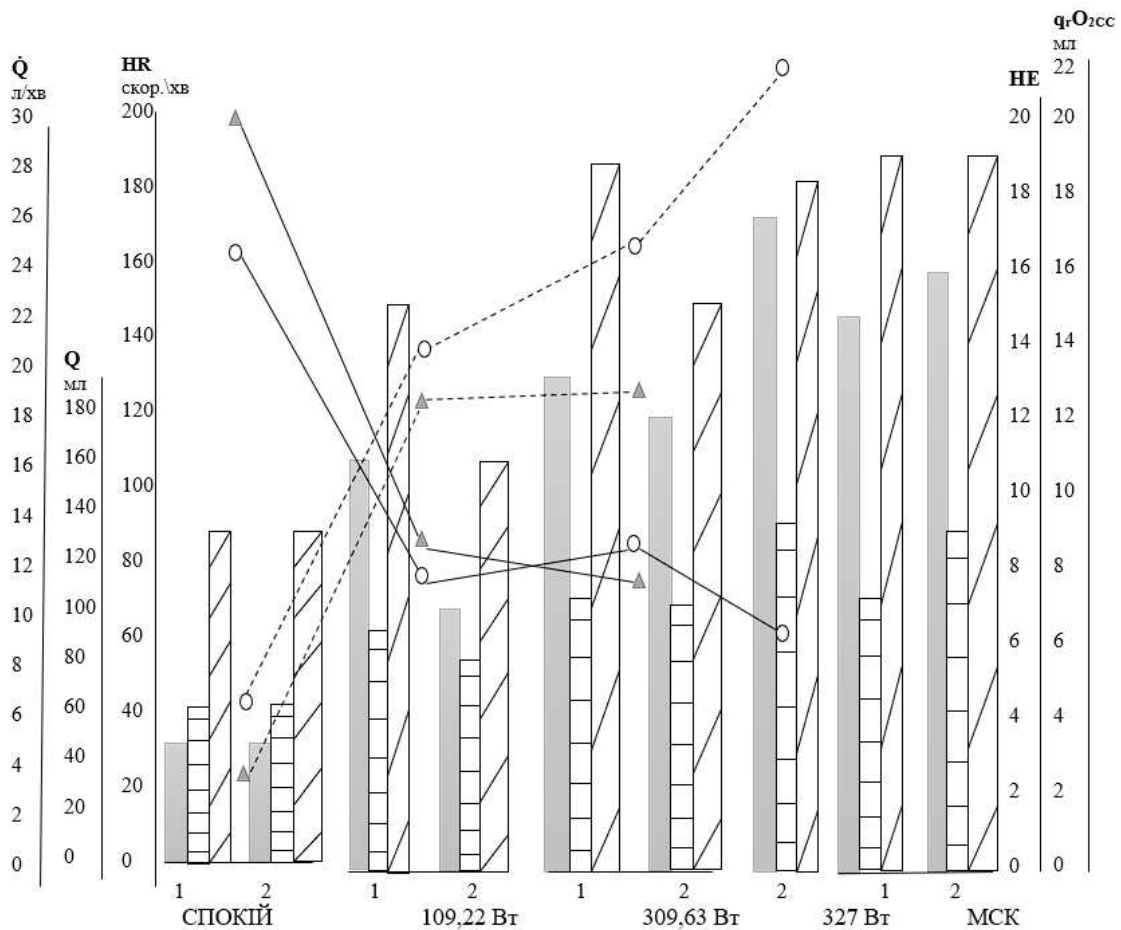
Якщо порівнювати зміни дихання, кровообігу та РМК при навантаженні однакової (максимальної) інтенсивності (для юних велосипедистів це навантаження 327 Вт, а для чоловіків – 245 Вт, то виявляється, що у юних велосипедистів максимальна швидкість та інтенсивність  $q_iO_2$  була вище, ніж у чоловіків. При цьому значно вищою була і питома потужність виконуваної



роботи (4,8 Вт та 3,4 Вт). У юних велосипедистів, разом з великими питомою потужністю виконуваної роботи та МСК, значно більшими були  $q_iO_2$  та  $q_AO_2$ , що забезпечувалось високими ХОД та АВ. Однак, ефективність зовнішнього дихання у відношенні надходження кисню до крові у юних велосипедистів була нижче, ніж у чоловіків. Дихання у підлітків було менш глибоким та більш частим. Кожний літр споживаного кисню вилучався з більшої кількості вентилюємого через легені повітря, а за кожен дихальний цикл юні велосипедисти споживали майже на 40 мл  $O_2$  менше, ніж чоловіки. Кровообіг у підлітків, які займалися велоспортом, при МСК характеризувався меншими величинами ХОК та УО та більш частим, ніж у нетренованих чоловіків, ритмом серця. Це сприяло тому, що у підлітків  $q_AO_2$  та  $q_{\bar{v}}O_2$  були меншими. Тим не менш, високий ступінь  $KU_T O_2$  свідчив про те, що кровообіг у них був дещо більш ефективним, ніж у чоловіків: для кожного літру вилученого кисню у юних велосипедистів об'ємний кровотік був на 1,2 л. меншим, а за кожне серцеве скорочення споживалось на 0,8 мл кисню більше, ніж у чоловіків.

Вказані відмінності в КТФК при МСК свідчили про те, що у тренуваних підлітків можливості зовнішнього дихання у відношенні надходження кисню в легені та альвеоли більші, однак, використання кисню в легенях менше.  $q_AO_2$  у юних спортсменів була менша, ніж у чоловіків, та обмежувалась здатністю серця збільшувати ХОК. Розрахунки показали, що якщо б юні велосипедисти могли б збільшувати ХОК до величини, котра при МСК спостерігалась у нетренованих чоловіків, то, при інших рівних умовах, МСК у них могло бути майже на 150 мл більше. В той же час більш високий, ніж у чоловіків,  $KU_T O_2$  вказував на більш вдосконалені механізми  $q_iO_2$  в працюючих тканинах юних велосипедистів.

Висока питома потужність, більше МСК, а також знижена киснева вартість роботи та більш тривалий час її виконання, вказували на те, що заняття велоспортом в підлітковому віці приводять до значного збільшення працездатності.



**Рисунок 4.14** – Зміни ХОК ( $\dot{Q}$ -■), УО ( $Q$ -▨) та ЧСС (HR -▴) у юних (1) та дорослих (2) велосипедистів в стані спокою та при різній потужності роботи. Суцільна лінія – HE, пунктирна –  $q \cdot O_{2CC}$ . Юні велосипедисти -▴, дорослі - ●

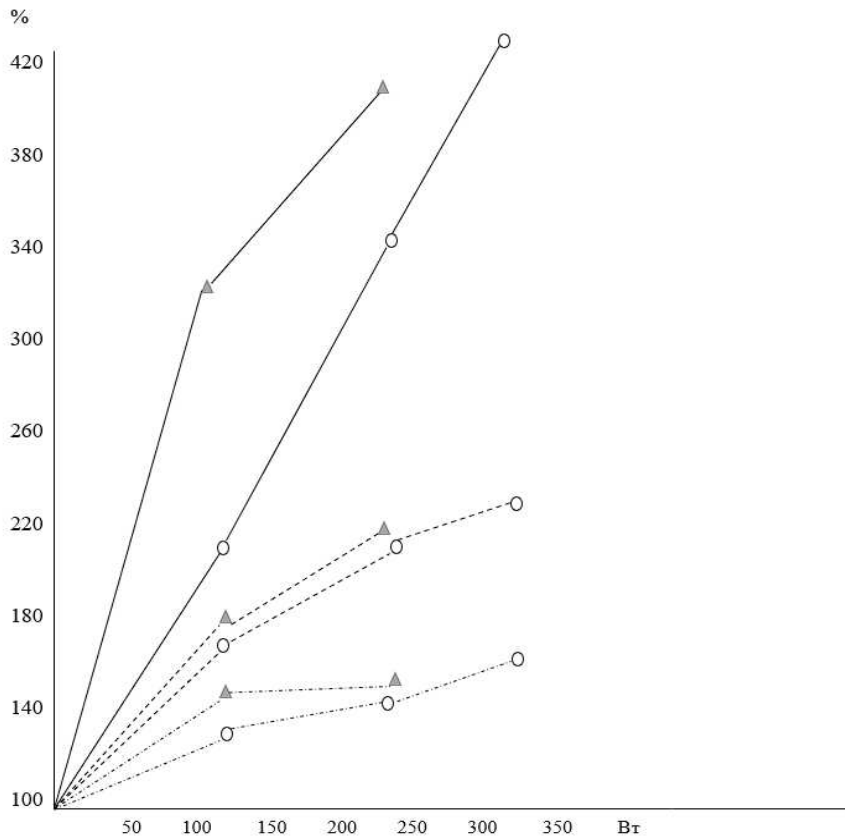
Таким чином, як свідчать результати проведеного дослідження, підлітки 13-14 років в результаті спортивного тренування можуть досягати більш високих показників працездатності, ніж молоді нетреновані чоловіки.

Так як виконання роботи за вказаною схемою для юних велосипедистів було легко виконуваним, то вони обслідувались також за схемою навантаження №.1, по якій були обслідувані і нетреновані чоловіки та дорослі велосипедисти високої спортивної кваліфікації. Дана схема передбачувала підвищення потужності виконуваної роботи на перших трьох ступенях

навантажень за рахунок швидкості педалювання до 40 км/год, а у випадку подальшого продовження роботи – до 50 км/год.

Параметри РМК, КТФК та функції зовнішнього дихання в стані спокою (сидячи на велоергометрі) перед початком роботи у дорослих велосипедистів дещо відрізнялись від того, що було описано для юних велосипедистів та нетренованих чоловіків (табл. 4.4, 4.5, 4.6). Слід відмітити, що у дорослих велосипедистів перед початком роботи величина споживання кисню була вищою. Зовнішнє дихання в спокої у них характеризувалось більшими показниками вентиляції, дихального об'єму та частоти дихання. Ефективність гемодинаміки також була більшою.

Такі відмінності в КТФК та РМК у дорослих спортсменів, в порівнянні з нетренованими чоловіками та юними велосипедистами, вказували на налаштування до майбутньої роботи та підготовку до неї організму, на більшу роль умовно-рефлекторних змін дихання та кровообігу, які виробляються в результаті спортивного тренування.



**Рисунок 4.15** – Підвищення ХОК (—), УО (---) та ЧСС (----) в динаміці м'язової діяльності у юних (▲) та дорослих (●) велосипедистів. За 100% прийнятий рівень спокою

Більш значні відмінності в КТФК та РМК дорослих спортсменів виявилися одразу з початком роботи, вже на першому її ступені. Робота 109 Вт (666 кГм/хв) за інтенсивністю для нетренованих чоловіків виявилась найвищою (85% МСК). Швидкість та інтенсивність  $q_tO_2$  при цьому були неоднаковими (табл. 4.9): найбільша  $q_tO_2$  спостерігалась у нетренованих чоловіків, а найменша у дорослих велосипедистів, що свідчило у останніх про найменшу кисневу вартість виконуваної роботи. Це порівняння вказує на те, що найбільш висока інтенсивність споживання кисню була у юних велосипедистів. Це можна пояснити тим, що питома потужність роботи у юних велосипедистів на даному навантаженні була найвищою.



Продовження таблиці 4.16

|          |           |          |        |         |        |      |        |      |      |        |
|----------|-----------|----------|--------|---------|--------|------|--------|------|------|--------|
| ПІДЛІТКИ | $\bar{x}$ | 90406,2  | 1390,4 | 73848,9 | 1131,0 | 82,3 | 1710,5 | 48,6 | 1,09 | 3251,0 |
|          | $m$       | 3644,0   | 55,7   | 340,2   | 52,3   | 1,1  | 90,4   | 2,29 | 0,02 | 98,4   |
|          | $\pm$     |          |        |         |        |      |        |      |      |        |
|          | $s$       | 12620,2  | 193,0  | 1076,0  | 165,2  | 3,1  | 236,2  | 7,24 | 0,05 | 219,2  |
| ДОРΟΣЛІ  | $\bar{x}$ | 121990,0 | 1635,1 | 96712,0 | 1297,0 | 79,8 | 2832,5 | 45,4 | 1,01 | 4203,4 |
|          | $m$       | 2931,1   | 38,5   | 3242,1  | 43,4   | 1,9  | 131,2  | 1,5  | 0,04 | 96,7   |
|          | $\pm$     |          |        |         |        |      |        |      |      |        |
|          | $s$       | 9268,4   | 123,4  | 10253,2 | 137,8  | 6,0  | 414,8  | 4,9  | 0,09 | 299,7  |

Економічність та ефективність РМК дорослих велосипедистів були найвищими. Про це свідчили високі  $KU_L O_2$  та  $KU_T O_2$ , низькі VE та HE (табл. 4.9). Ефективність РМК при роботі 109 Вт у нетренованих чоловіків була вищою, ніж у юних велосипедистів.

Відносно низький загальний рівень каскадів швидкості пересування кисню в організмі у дорослих спортсменів являвся результатом меншого посилення гемодинаміки (ХОК та УО, ЧСС) та менших змін показників дихальної функції крові. (табл. 4.7). Ступінь  $S_a O_2$  та  $C_a O_2$  були вищими. Тим не менш, навіть при навантаженні невисокої інтенсивності, мобілізація тканинних механізмів утилізації кисню у дорослих велосипедистів була дещо більшою, ніж у юних спортсменів та нетренованих чоловіків. При роботі 109 Вт у дорослих велосипедистів виявився найнижчим  $C_{\bar{v}} O_2$ , а – найвищим  $C_{(a-\bar{v})} O_2$  (табл. 4.7).

Відмінності в показниках гемодинаміки та дихальної функції крові у юних велосипедистів та нетренованих чоловіків були статистично недостовірні.

Показники зовнішнього дихання (низькі легенева та альвеолярна вентиляції) також свідчать про те, що дане навантаження для дорослих спортсменів було легко виконуваним. ЧД була значно меншою, а ДО більшим, ніж у юних спортсменів (табл. 4.8). Слід відмітити, що у нетренованих чоловіків, для яких дане навантаження було субмаксимальної інтенсивності (85% МСК), ДО був більшим, ніж у спортсменів. Відношення АВ/ХОД у тренуваних та нетренованих чоловіків було майже однаковим та меншим, ніж у юних велосипедистів, що очевидно, було пов'язано з тим, що для дорослих спортсменів робота 109 Вт була навантаженням середньої важкості, при якій ще не повністю вмикались усі механізми. У нетренованих чоловіків досягнуте в при даній роботі відношення АВ/ХОД було майже максимальним, тобто, це відношення більше підвищитися не може.

**Таблиця 4.17** – Параметри РМК та показники їх економичності та ефективності у юних (n=4) та дорослих велосипедистів (n=4) [86] при МСК

| Показники                    | $q_i O_2$ |              | $q_A O_2$ |               | $q_a O_2$ |              | $q_t O_2$ |                  | $q_v O_2$ |              |      |
|------------------------------|-----------|--------------|-----------|---------------|-----------|--------------|-----------|------------------|-----------|--------------|------|
|                              | мл/хв     | мл/х<br>в×кг | мл/хв     | мл/хв.<br>×кг | мл/хв     | мл/хв<br>×кг | мл/хв     | мл/<br>хв×<br>кг | мл/хв     | мл/х<br>в×кг |      |
| ЮНІ<br>ВЕЛОСИПЕДИ<br>СТИ     | $\bar{x}$ | 14500,<br>0  | 227,<br>5 | 12103,<br>2   | 182,3     | 4310,0       | 65,9      | 3025,0           | 45,8      | 124,0        | 18,6 |
|                              | $m \pm$   | 708,4        | 10,2      | 925,2         | 6,4       | 96,8         | 2,5       | 104,6            | 2,1       | 51,5         | 1,86 |
|                              | $s$       | 1735,2       | 25,1      | 1602,6        | 11,1      | 237,0        | 6,1       | 256,2            | 5,1       | 126,1        | 4,56 |
| ДОРΟΣЛІ<br>ВЕЛОСИПЕДИ<br>СТИ | $\bar{x}$ | 20754,<br>0  | 271,<br>4 | 16439,<br>2   | 224,3     | 5094,9       | 4194,2    | 4194,2           | 56,9      | 900,7        | 12,2 |
|                              | $m \pm$   | 519,5        | 9,3       | 584,3         | 9,5       | 106,1        | 91,9      | 91,9             | 1,9       | 48,1         | 0,67 |
|                              | $s$       | 1643,2       | 29,5      | 1847,9        | 30,0      | 325,8        | 291,4     | 291,4            | 6,1       | 136,2        | 2,1  |

## Продовження таблиці 4.17

| Показники                | $KU_{T}O_2$<br>% | $q_{t}O_{2CC}$<br>мл $O_2$<br>за 1<br>с.п. | HE   | $KU_{L}O_2$<br>% | $q_{t}O_{2RC}$<br>мл $O_2$<br>за 1<br>д.ц. | VE   | $\frac{q_i O_2}{q_t O_2}$ | $\frac{q_A O_2}{q_t O_2}$ | $\frac{q_a O_2}{q_t O_2}$ | $\frac{q_{\bar{v}} O_2}{q_t O_2}$ |
|--------------------------|------------------|--|------|------------------|--|------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Вікові групи             |                  |  |      |                  |  |      |                           |                           |                           |                                   |
| ЮНІ<br>ВЕЛОСИПЕДИСТИ     | $\bar{x}$ 70,6   | 15,96                                      | 8,0  | 19,7             | 58,7                                       | 26,5 | 5,0                       | 4,07                      | 1,41                      | 0,43                              |
|                          | $m \pm$ 1,45     | 0,86                                       | 0,18 | 1,36             | 1,15                                       | 2,28 | 0,42                      | 0,52                      | 0,03                      | 0,03                              |
|                          | $s$ 3,55         | 2,1  | 0,45 | 3,33             | 3,0  | 5,6  | 1,0                       | 0,9                       | 0,07                      | 0,07                              |
| ДОРΟΣЛІ<br>ВЕЛОСИПЕДИСТИ | $\bar{x}$ 82,1   | 22,7                                       | 6,9  | 20,4             | 98,6                                       | 25,9 | 4,9                       | 3,9                       | 1,2                       | 0,21                              |
|                          | $m \pm$ 0,79     | 1,3  | 0,12 | 0,49             | 4,3  | 2,2  | 0,12                      | 0,1                       | 0,02                      | 0,01                              |
|                          | $s$ 2,5          | 6,0  | 0,88 | 1,5              | 13,6                                       | 5,4  | 0,41                      | 0,32                      | 0,05                      | 0,03                              |

Визначені відмінності були виявлені при аналізі каскадів  $PO_2$  (табл. 4.10).  $P_A O_2$  у тренованих та нетренованих чоловіків був практично однаковий ( $P > 0,02$ ), у юних велосипедистів майже на 2,5 мм рт. ст. був вищим. В артеріальній крові у дорослих велосипедистів  $PO_2$  було найвищим, дещо нижчим у юних велосипедистів і ще нижче – у нетренованих чоловіків.

У зв'язку з тим, що  $KU_{T}O_2$  у дорослих велосипедистів був кращим, ніж у решти досліджуваних груп осіб, у них було найменшим (майже на 5 мм рт. ст.). Такі відмінності  $PO_2$  вказували на те, що напірні градієнти  $PO_2$  – артеріо-венозний, альвеолярно-венозний та повітряно-венозний у дорослих велосипедистів були найбільшими, що створило кращі умови для дифузії кисню.

Таким чином, при виконанні роботи 109 Вт, РМК дорослих спортсменів відрізнялись найбільшою ефективністю та економічністю.



**Таблиця 4.18** – Парціальний тиск кисню (мм рт. ст.) в альвеолах, артеріальній та змішаній венозній крові у нетренованих чоловіків (n=4), юних (n=4) та дорослих велосипедистів (n=4) [86] при МСК

|           | Альвеоли      |               |        | Артеріальна кров |               |        | Змішана венозна кров |               |        |
|-----------|---------------|---------------|--------|------------------|---------------|--------|----------------------|---------------|--------|
|           | Нетр.<br>чол. | Велосипедисти |        | Нетр.<br>чол.    | Велосипедисти |        | Нетр.<br>чол.        | Велосипедисти |        |
|           |               | Підліт.       | Чолов. |                  | Підліт.       | Чолов. |                      | Підліт.       | Чолов. |
| $\bar{x}$ | 105,7         | 112,5         | 107,9  | 70,7             | 67,4          | 66,5   | 24,9                 | 19,0          | 14,3   |
| $m_{\pm}$ | 2,22          | 3,1           | 0,9    | 4,67             | 2,2           | 2,2    | 2,23                 | 0,77          | 0,75   |
| $s$       | 5,47          | 6,1           | 2,8    | 11,4             | 7,7           | 6,9    | 5,46                 | 1,9           | 2,3    |

Робота з потужністю 218 Вт (1333 кГм/хв) для нетренованих чоловіків та юних велосипедистів по інтенсивності була максимальною, однак, якщо підлітки дану роботу виконали повністю, то нетреновані чоловіки – виконували її лише 2,5 хв. Для нетренованих чоловіків  $q_tO_2$  склало 100% МСК, а для юних велосипедистів – 38% МСК на 3-ій хвилині навантаження та 100% на 5-ій хвилині, тоді як у дорослих велосипедистів по інтенсивності це навантаження склало всього лише 70% МСК. При різній інтенсивності навантаження  $q_tO_2$  в різних групах були різними: найвища його величина була у дорослих велосипедистів, найнижча - у нетренованих чоловіків. Не дивлячись на те, що  $q_tO_2$  у чоловіків було найнижчим, для них воно виявилась максимальним. Інтенсивність  $q_tO_2$  у юних та дорослих велосипедистів була практично однаковою та на 7 мл/хв×кг була вищою, ніж у нетренованих чоловіків.  $q_tO_2$  відрізнялась у досліджуваних груп осіб недостовірно, а  $q_AO_2$  у юних велосипедистів була більшою, ніж у нетренованих чоловіків та меншою, ніж у дорослих велосипедистів. Не дивлячись на те,  $q_AO_2$  була майже однаковою, швидкість та інтенсивність у дорослих спортсменів, як і при меншій інтенсивності навантаження, була найменшою.

При виконанні роботи потужністю 218 Вт, найбільша економічність та ефективність РМК спостерігались у дорослих велосипедистів, а у тренуваних

підлітків та нетренованих чоловіків мало відрізнялись між собою (табл. 4.13). Більш ефективними у дорослих спортсменів виявилися зовнішнє дихання та гемодинаміка. Про це свідчили найвищі ДО та УО, більш низькі величини ЧД та ЧСС, більш сприятливі відношення АВ/ХОД та найнижчий ХОК (табл. 4.11, 4.12).

У дорослих спортсменів при роботі 218 Вт збільшилась, а та  $C_aO_2$  найнижчими. Ще в більшій мірі, ніж при попередній роботі, у дорослих спортсменів збільшився  $KU_T O_2$ .

**Таблиця 4.19** – Градієнти  $PO_2$  у нетренованих чоловіків (n=16), юних (n=16) та дорослих велосипедистів (n=16) [86] при навантаженнях 109 Вт та 218 Вт, а також під час МСК

| Позначення градієнтів        | (A-a) | (a-v) | (A-v) | (i-a) | (i-v) |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Навантаження 109 Вт          |       |       |       |       |       |
| Нетреновані чоловіки         | 28,0  | 48,4  | 76,1  | 83,3  | 131,4 |
| Юні велосипедисти            | 26,1  | 51,7  | 77,3  | 79,1  | 130,1 |
| Дорослі велосипедисти        | 22,1  | 52,3  | 80,4  | 77,9  | 136,2 |
| Навантаження 218 Вт          |       |       |       |       |       |
| Нетреновані чоловіки         | 35,0  | 45,8  | 80,8  | 85,4  | 131,1 |
| Юні велосипедисти            | 40,4  | 45,9  | 86,2  | 88,3  | 132,2 |
| Дорослі велосипедисти        | 37,6  | 49,1  | 86,7  | 99,4  | 138,5 |
| Максимальне споживання кисню |       |       |       |       |       |
| Нетреновані чоловіки         | 35,0  | 45,8  | 80,8  | 85,2  | 131,1 |
| Юні велосипедисти            | 41,8  | 48,4  | 93,5  | 88,6  | 137,0 |
| Дорослі велосипедисти        | 41,4  | 55,2  | 93,6  | 89,5  | 141,7 |

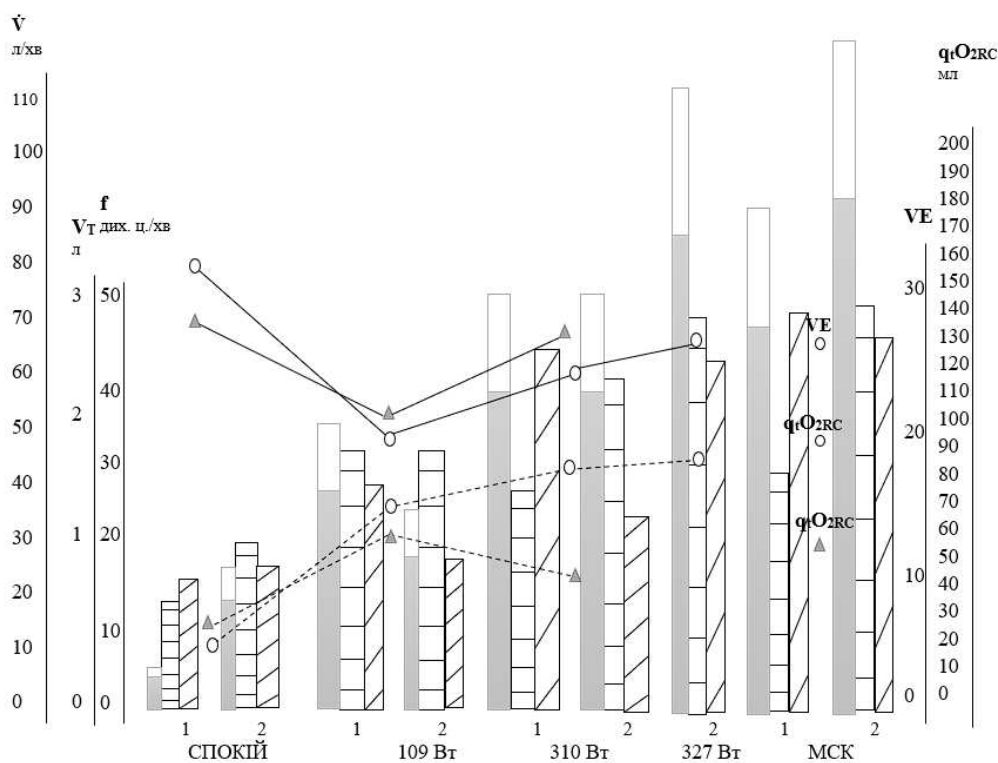
Каскади  $PO_2$  (рис. 4.19) свідчили про те, що  $PO_2$  в альвеолярному повітрі, артеріальній та змішаній венозній крові у дорослих спортсменів вони були нижче, ніж у підлітків (табл. 4.14). Більш високі повітряно-артеріальний та повітряно-венозний градієнти  $PO_2$  (табл. 4.19) вказували на те, що поряд з більш низьким загальним рівнем каскадів  $PO_2$ , РМК дорослих спортсменів

стали напруженішими, ніж при виконанні попередньої роботи. Вони також виявилися більш напруженішими, ніж у підлітків та нетренованих чоловіків.

Таким чином, у дорослих велосипедистів при виконанні роботи 218 Вт так і при роботі 109 Вт, ефективність, економічність та інтенсивність РМК були найбільшими.

Так як наступну роботу, потужністю 327 Вт, виконували тільки дорослі велосипедисти, то описані зміни КТФК та РМК будуть стосуватись лише даних цієї групи.

Вказану роботу усі дорослі спортсмени виконали майже повністю (4,5-5 хв). Споживання кисню у них досягало  $4114,1 \pm 53,7$  мл/хв або  $55,9$  мл/хв $\times$ кг. МСК у даної групи було зареєстровано на останній хвилині роботи та всього лише на  $80,0$  мл/хв (1 мл/хв. кг) перевищувало вказані величини  $q_tO_{2RC}$ .



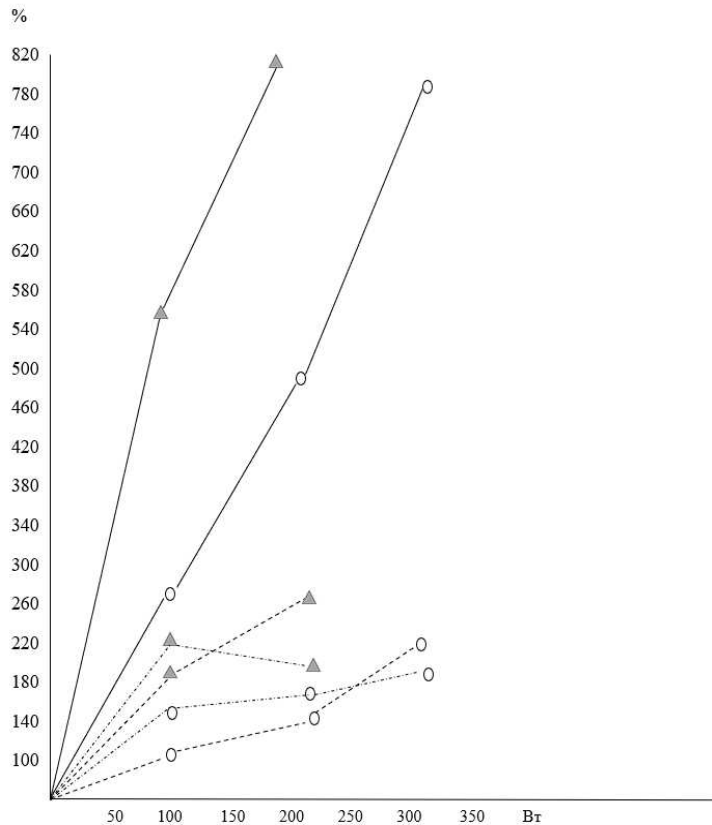
**Рисунок 4.16** – Зміни ХОД ( $V_E$ -□), АВ ( $V_A$ -■), ЧО ( $V_T$ -▨) та ЧД ( $f$ -○) у юних (1) та дорослих (2) велосипедистів в стані спокою та при роботі різної потужності. Суцільна лінія –  $VE$ , пунктирна –  $q_tO_{2RC}$ . Юні велосипедисти - ▲, дорослі- ●

Висока швидкість  $q_iO_2$  забезпечувалась як збільшеною  $q_iO_2$  (до  $19269 \pm 188$  мл/хв та  $255 \pm 7,5$  мл/хв. кг),  $q_AO_2$  ( $15839 \pm 274$  мл/хв або  $216 \pm 7,1$  мл/хв. кг), транспортування його артеріальною кров'ю ( $4912 \pm 66,3$  мл/хв або  $66,7 \pm 2,3$  мл/хв. кг), так і високим  $KU_T O_2$  (до  $83,3 \pm 0,71\%$ ). Таке надходження кисню до легень та альвеол зумовлено подальшим збільшенням ХОД - до  $112750 \pm 1560$  мл/хв та АВ до  $92942 \pm 1448$  мл/хв (рис. 4.16). Відношення АВ/ХОД залишилось таким самим, як при роботі попередньої потужності ( $82,1 \pm 0,06\%$ ). Вентиляція перевищувала кровотік в  $3,3 \pm 0,11$  рази, ХОК досягав  $27969 \pm 795$  мл/хв, УО у дорослих велосипедистів збільшився до  $149,6 \pm 5,1$  мл, а ЧСС до  $186 \pm 4,3$  скор./хв (рис. 4.14). Високий  $KU_T O_2$  був зумовлений збільшенням до  $14,7 \pm 0,32$  об.%. При цьому  $S_aO_2$  становило  $-17,6$  об.%, а  $S_vO_2$  -  $2,86$  об.%. Насиченість  $S_aO_2$  знизилась до  $85,5 \pm 1,44\%$ , а  $S_vO_2$  - до  $15,0 \pm 1,49\%$ .

Дихання у дорослих спортсменів стало ще більш частим ( $43,1 \pm 1,7$  дих/хв.) та глибоким (до  $2809,95 \pm 183,2$  мл).

Разом із значними змінами параметрів дихання, кровообігу, дихальної функції крові, КТФК дорослих велосипедистів стала ще більш ефективною та економічною, функція зовнішнього дихання змінилась незначно. За кожен дихальний цикл та серцеве скорочення споживалось відповідно  $96,5 \pm 4,5$  мл та  $22,6 \pm 0,97$  мл кисню. VE склав  $25,1 \pm 0,31$ , а HE -  $6,8 \pm 0,14$  л крові.  $q_iO_2$  та  $q_AO_2$  перевищували швидкість  $q_iO_2$  в  $4,6 \pm 0,06$  та  $3,8 \pm 0,07$  рази,  $q_AO_2$  в  $1,18 \pm 0,01$  рази, та складала від  $q_iO_2$  всього лише  $19,2 \pm 1,1\%$  ( $797 \pm 49$  мл/хв або  $10,8 \pm 0,76$  мл/хв. кг).

$PO_2$  у дорослих велосипедистів в порівнянні з попередньою роботою  $218$  Вт збільшився в альвеолярному повітрі з  $104,2$  до  $108 \pm 0,85$  мм рт. ст., а в артеріальній крові та змішаній венозній став нижче ( $65,4 \pm 3,0$  та  $13,6 \pm 0,98$  мм рт. ст.). Це призвело до того, що альвеолярно-артеріальний, артеріально-венозний, альвеолярно-венозний, повітряно-артеріальний та повітряно-венозний градієнти  $PO_2$  стали ще більшими.

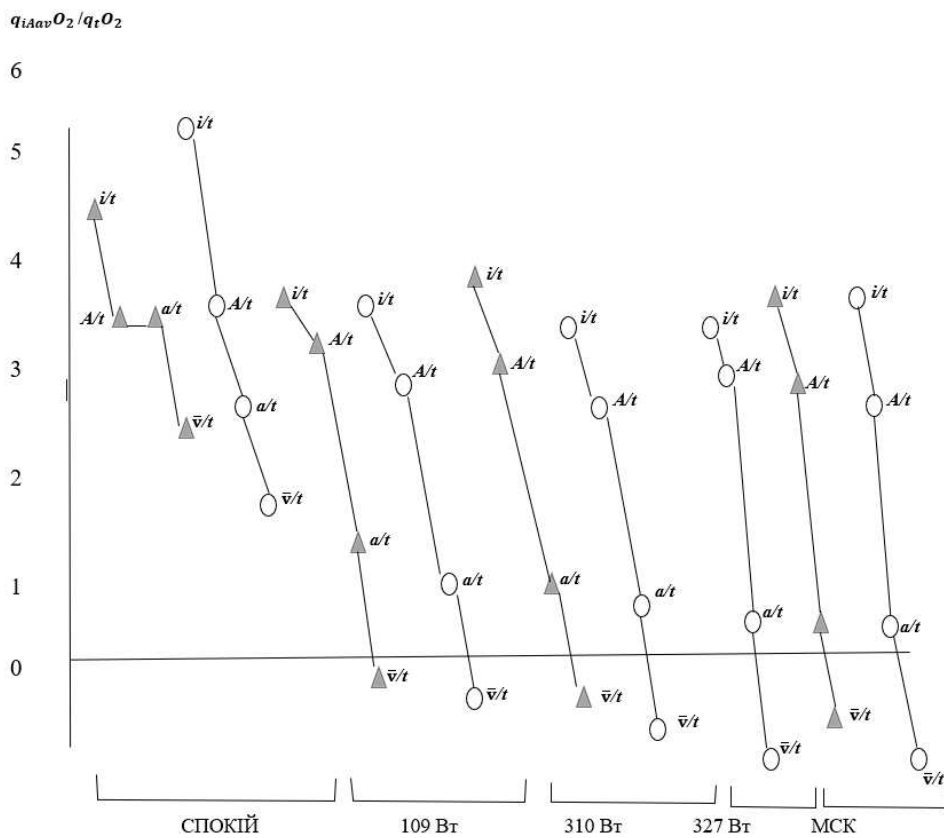


**Рисунок 4.17** – Підвищення ХОД (—), ДО (---) та ЧД (---) в динаміці м'язової діяльності у юних та дорослих (▲ та ●) велосипедистів. За 100% прийнятий рівень спокою

Таким чином, поряд з високою швидкістю просування кисню в організмі та швидкістю його споживання, РМК дорослих велосипедистів при роботі 327 Вт характеризувалися великою ефективністю та економічністю, а також більшою напруженістю (рис. 4.19).

При порівнянні КТФК та РМК дорослих та юних велосипедистів при навантаженні однакової інтенсивності (близько 70% МСК - 218 Вт для

дорослих та 109 Вт для юних спортсменів), виявилось, що швидкість та інтенсивність просування кисню та його споживання у дорослих велосипедистів були вищі. Разом з більшою загальною та питоною потужністю, РМК дорослих спортсменів відрізнялись більшою економічністю та ефективністю. У них при інтенсивності навантаження 70% МСК  $P_{A}O_2$  був майже таким, як у юних велосипедистів, а  $P_aO_2$  та на 10 та 8 мм рт. ст. була нижче, що вказувало на велику, в порівнянні з підлітками, напруженість РМК.



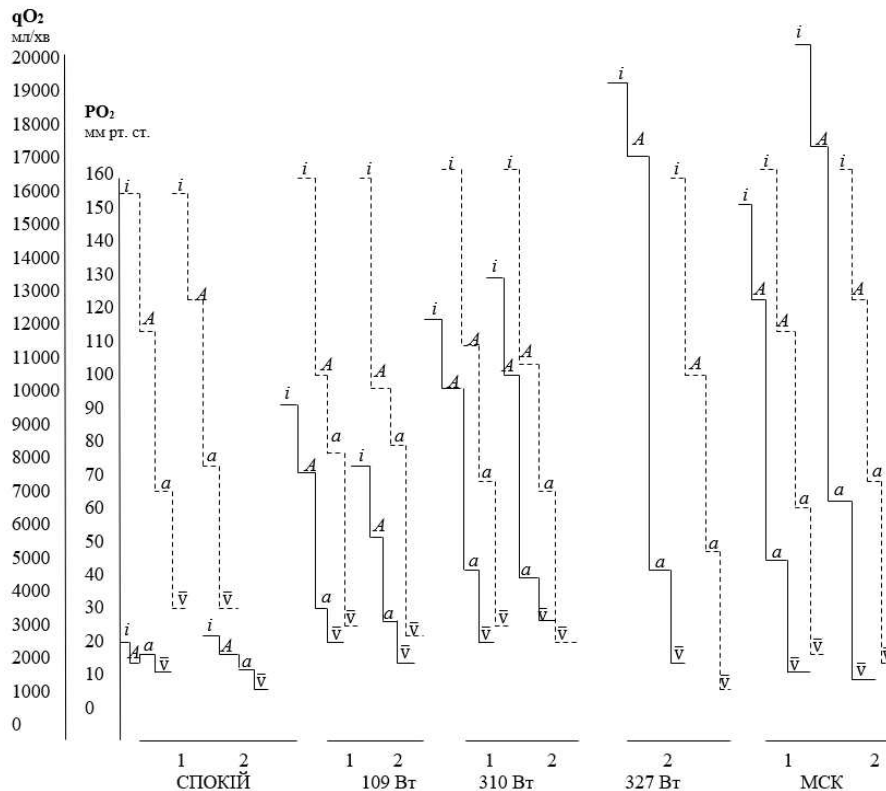
**Рисунок 4.18** – Відношення між  $q_iO_2/q_tO_2$  та  $q_{\bar{v}}O_2/q_tO_2$  у юних (▲) та дорослих (●) велосипедистів при роботі різної потужності

Якщо порівнювати юних велосипедистів з нетренованими чоловіками, то виявляється, що при однаковому по інтенсивності навантаженні більш висока працездатність та параметри РМК були у юних велосипедистів. При цьому КТФК у юних спортсменів була більш ефективна, а функція зовнішнього дихання менш ефективна та економічна. РМК юних

велосипедистів при такій інтенсивності навантаження були більш напруженими, ніж у нетренованих чоловіків.

Більш значні відмінності в КТФК та РМК юних та дорослих велосипедистів, а також нетренованих чоловіків були виявленні при навантаженні максимальної інтенсивності (тобто при МСК, (табл. 4.15, 4.16, 4.17). Максимальні швидкість та інтенсивність  $q_{\text{O}_2}$  були зареєстровані при ступінчато-зростаючій роботі у чоловіків-велосипедистів на останній хвилині роботи 327 Вт, у нетренованих чоловіків в середині роботи 218 Вт та у юних спортсменів на останній хвилині цієї роботи. Величини МСК у всіх досліджуваних груп осіб були неоднаковими. Наднизьке МСК було у нетренованих чоловіків (рис. 4.23), на 0,5 л/хв більше – у юних велосипедистів і на 1,6 л/хв більше – у дорослих спортсменів.

Максимальна інтенсивність була зареєстрована у дорослих велосипедистів та склала 56,9 мл/хв×кг, у юних велосипедистів ця величина була на 11,1 мл і у нетренованих чоловіків на 23,1 мл менше. У зв'язку з цим, найвища швидкість просування кисню на всіх рівнях кисневого каскаду



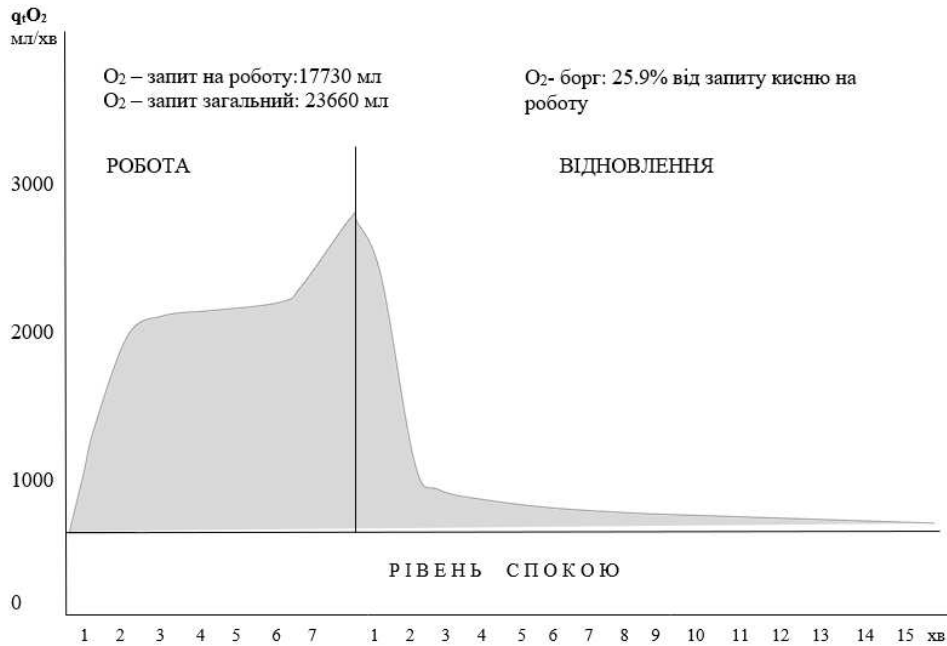
**Рисунок 4.19** – Каскади  $PO_2$  – пунктирна лінія та  $qO_2$  – суцільна лінія, надходження кисню в легені (i), альвеоли (A), транспортування його артеріальною (a) та змішаною венозною ( $\bar{v}$ ) кров'ю у юних (1), та дорослих (2) велосипедистів

до тканин виявилась у дорослих спортсменів, нижче – у юних та найнижчою – у нетренованих чоловіків.  $q_{\bar{v}}O_2$  у юних велосипедистів при МСК на 393,3 мл/хв була вищою, ніж у дорослих спортсменів та на 159,3 мл/хв меншою, ніж у нетренованих чоловіків. Це свідчило про те, що заняття велоспортом в підлітковому віці призводять до більших, ніж у нетренованих чоловіків, можливостей утилізації кисню тканинами. Однак, у дорослих велосипедистів  $KU_T O_2$  був найвищий. Важливо підкреслити, що при більшій максимальній швидкості та інтенсивності  $q_{\bar{v}}O_2$  найбільша ефективність та економічність РМК спостерігалась у дорослих велосипедистів.

Висока швидкість надходження кисню до легень та альвеол зумовлена у дорослих велосипедистів більшими, ніж у нетренованих чоловіків, на 50,7 л/хв та тренуваних підлітків на 31,6 л/хв величинами ХОД та відповідно на 44,1 та 22,9 л/хв АВ, найбільш високим АВ/ХОД. Найбільша ЧД спостерігалась у юних велосипедистів, найменша – у нетренованих чоловіків. При цьому глибина дихання у юних велосипедистів на 1122 мл була меншою, ніж у дорослих велосипедистів та на 324 мл - ніж у нетренованих чоловіків.

Найвища  $q_a O_2$  при МСК була у дорослих спортсменів та забезпечувалась високим ХОК (29,4 л/хв), який на 5 л/хв був більшим, ніж у підлітків та на 6 л/хв – ніж у нетренованих чоловіків, УО при цьому у дорослих велосипедистів на 25 мл був більшим, ніж у юних спортсменів та на 35 мл – ніж у нетренованих чоловіків.





**Рисунок 4.20** – Динаміка зміни  $q_t O_2$  під час м'язової роботи та в період відновлення у нетренованих чоловіків, які виконували роботу за схемою навантаження №1

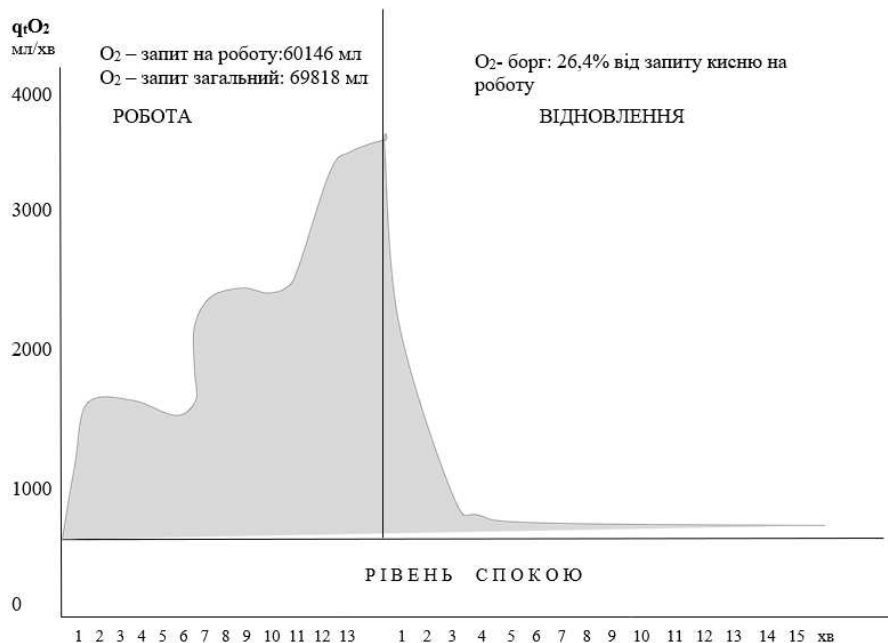
Більш суттєві зміни, в порівнянні з нетренованими чоловіками та юними спортсменами, спостерігались у дорослих спортсменів в дихальній функції крові:  $C_a O_2$  та  $C_v O_2$  у них були нижче, ніж у нетренованих чоловіків та юних спортсменів, а  $P O_2$  – значно вище. До більш низьких величин у дорослих велосипедистів впали  $S_a O_2$  та  $S_v O_2$ . Слід відмітити, що у юних велосипедистів вказані відмінності в дихальній функції крові проявились в більшій мірі, ніж у нетренованих чоловіків.

$P O_2$  у юних та дорослих велосипедистів при МСК в альвеолярному повітрі був вище, ніж у нетренованих чоловіків, а в артеріальній та змішаній венозній крові – нижче (табл. 4.18). При цьому, у юних велосипедистів  $P O_2$  в альвеолярному повітрі, артеріальній та змішаній венозній крові на 5 мм рт. ст., 0,9 мм рт. ст. та 4,7 мм рт. ст. відповідно був вищим, ніж у дорослих спортсменів. Такі зміни в  $P O_2$  призвели до того, що артеріально-венозний, альвеолярно-венозний, повітряно-артеріальний та повітряно-венозний

градієнти кисню, хоча і були більші, ніж у нетренованих чоловіків, але ще не досягали величин дорослих велосипедистів.

Порівняння КТФК та РМК у велосипедистів різного віку та нетренованих чоловіків при МСК свідчать про те, що в процесі заняття велоспортом підвищується ефективність та економічність РМК та збільшується їх напруженість.

Таким чином, по нарощуванню максимальної загальної та питомої потужності роботи у досліджуваних нами груп, вони розташовувались в наступному порядку: нетреновані підлітки, нетреновані чоловіки, далі юні та дорослі велосипедисти. У відповідності з цим знаходились середні для груп цифри величин МСК та швидкості поетапного його пересування в організмі і доставки до тканин.



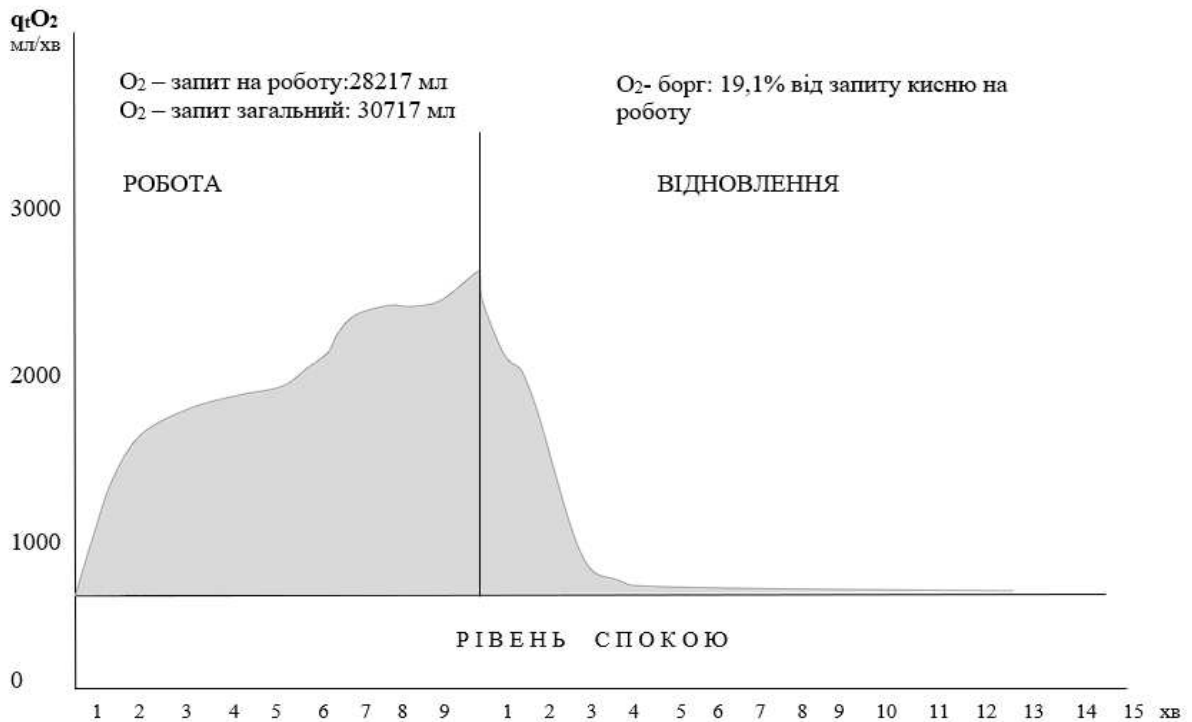
**Рисунок 4.21** – Динаміка зміни  $q_t O_2$  під час м'язової діяльності та в період відновлення у дорослих велосипедистів, які виконували роботу за схемою навантаження №1

В цьому відношенні слід відмітити, що у спортсменів швидкість поетапної доставки кисню вище, ніж у нетренованих, при цьому його надходження до легень та альвеол, транспортування артеріальною кров'ю у юних спортсменів ще не досягало таких величин, як у дорослих велосипедистів.

Менша  $q_iO_2$  у нетренованих чоловіків та підлітків була зумовлена меншою величиною ХОД. Цікаво відмітити, що у юних спортсменів при навантаженні з МСК, ХОД був вище, ніж у нетренованих чоловіків та значно нижче, ніж у дорослих спортсменів. Максимальна ЧД була у юних велосипедистів, при цьому дихальний об'єм у них був найменшим.

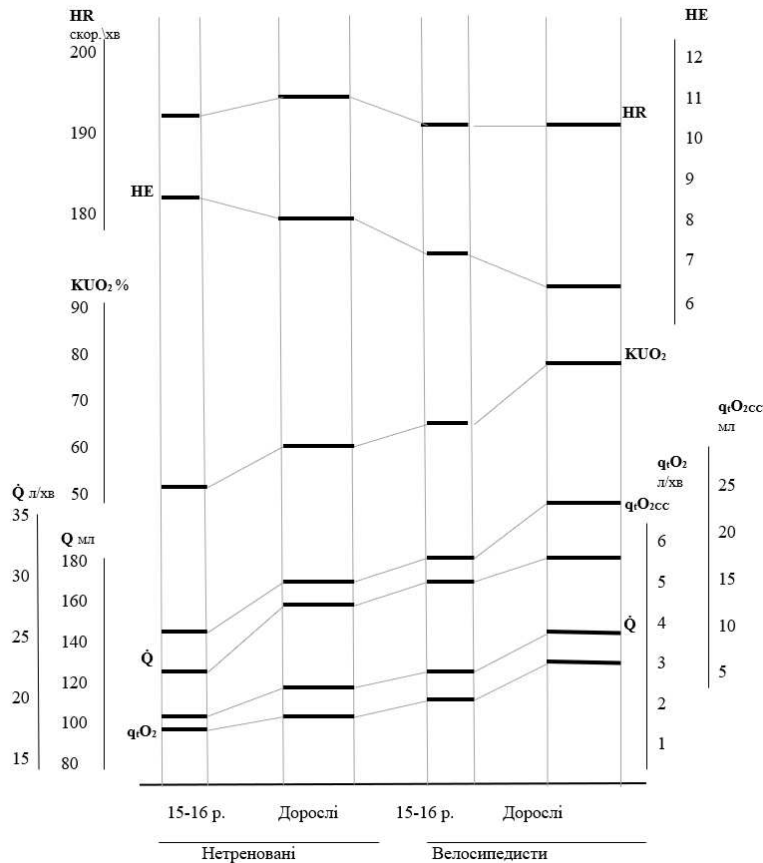
Гранична величина ХОК у юних велосипедистів знаходилась на рівні дорослих нетренованих чоловіків, у дорослих спортсменів ХОК був найвищим, тобто досягав 30 л/хв, а в окремих випадках 32-33 л/хв. при майже однаковій максимальній ЧСС. Такий ХОК забезпечувався у них значним збільшенням УО – до 152 мл (середні дані) та у окремих осіб – до 165-170 мл.

Виконання біляграничних та граничних навантажень спортсменами супроводжувалось більш економічною роботою дихальної та циркулярної систем, про що свідчили більш низькі VE та HE. У спортсменів також були значно вищі кисневий  $q_tO_{2RC}$  та  $q_tO_{2CC}$ . Відношення між швидкістю надходження кисню в легені, альвеоли, транспортування його артеріальною та змішаною венозною кров'ю зі швидкістю споживання кисню при максимальній потужності роботи свідчили про більшу ефективність та економічність РМК юних спортсменів в порівнянні з РМК їх нетренованих однолітків та чоловіків, але ще не такі ефективні як у дорослих спортсменів (рис. 4.18).



**Рисунок 4.22** – Динаміка зміни  $q_t O_2$  під час м'язової діяльності та в період відновлення у юних велосипедистів, які виконували роботу за схемою навантаження №1

Особливо чітко проявився вплив заняттями спортом на ефективність КТФК. Так, у нетренованих підлітків до тканин з артеріальною кров'ю доходило кисню значно більше, ніж у юних велосипедистів, в той час швидкість його транспортування змішаною венозною кров'ю у тренуваних була нижча. З розвитком організму та його тренуваністю більш повно використовується кисень з артеріальної крові та зменшується «холостий», у відношенні транспортування кисню, струм венозної крові.  $KU_T O_2$  у юних велосипедистів при МСК був значно вищий, ніж у нетренованих підлітків, але ще не досягав рівня дорослих спортсменів. У спортсменів в більшій мірі, ніж у нетренованих, збільшується  $C_{(a-\bar{v})} O_2$ , що призвело до того, що венозна кров у спортсменів стала біднішою киснем.



**Рисунок 4.23** –  $q_tO_2$ ,  $KUO_2$ , показники гемодинаміки: ХОК ( $\dot{Q}$ ), ЧСС (HR), УО (Q), HE та  $q_tO_{2cc}$  у нетрениваних підлітків та чоловіків, а також у юних та дорослих велосипедистів при МСК

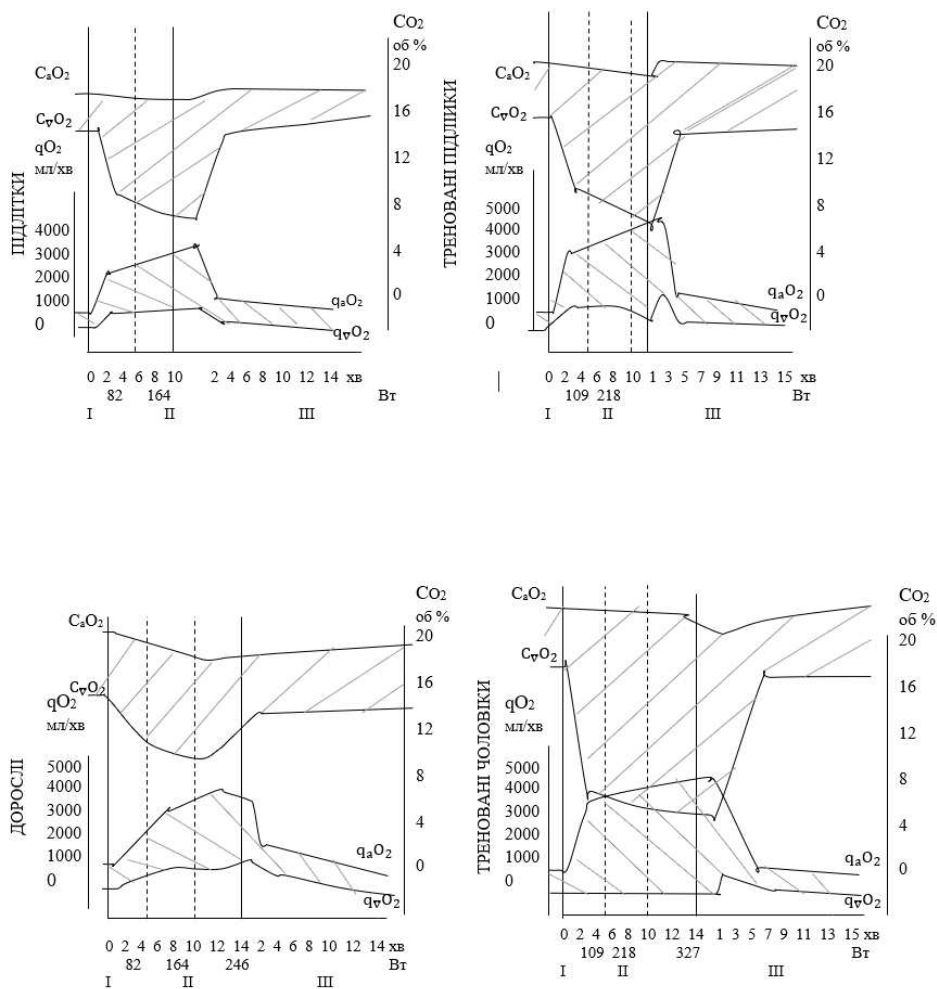
$q_{\bar{v}}O_2$  у більш тренуваних збільшується меншою мірою. Це вказує на те, що можливість збільшення МСК обмежується у нетрениваних підлітків та чоловіків, а також у юних спортсменів (хоча і меншою мірою) не тільки недостатньою здатністю збільшувати швидкість  $q_aO_2$ , але і меншими, ніж у дорослих велосипедистів, можливостями  $KU_T O_2$ . Його підвищення у тренуваних підлітків могло б забезпечити збільшення МСК майже на 400 мл/хв, якби у них  $C_{(a-\bar{v})}O_2$  була б такою самою, як у дорослих велосипедистів.

Не дивлячись на те, що  $q_aO_2$  і у юних і дорослих спортсменів збільшується, вміст кисню та його напруженість в змішаній венозній крові у дорослих велосипедистів знижується в більшій мірі та ступінь тканинної гіпоксії у дорослих спортсменів, очікувано, більша. При цьому дорослі

велосипедисти здатні виконувати ще роботу. Відмова від продовження роботи відбувається у них при більш низькому  $P_{\bar{V}O_2}$ .

При МСК  $PO_2$  в артеріальній та змішаній венозній крові з віком та по мірі тренуваності знижується.

Підвищення ефективності та економічності РМК з віком та в процесі спортивного тренування, поряд з вдосконаленням координації рухів, призводить до збільшення ККД, зниження кисневої вартості виконуваної механічної роботи, підвищення працездатності.



**Рисунок 4.24** – Зміни  $C_aO_2$  та швидкості транспортування кисню ( $qO_2$ ) артеріальною та змішаною венозною кров'ю у нетренованих та тренуваних

підлітків та чоловіків в спокої (I), під час роботи (II) та в найближчий відновлювальний період (III). Заштриховані площі -  $C_{(a-v)}O_2$

#### **4.2 Порівняння прямих та непрямих методів визначення фізичної працездатності підлітків**

Дослідження фізичної працездатності в останні роки набуває все більш важливе значення. Хоча фізична працездатність являється спеціальним поняттям фізіологія праці, спорту, спортивної медицини, вона вивчається і в інших областях прикладної фізіології та медицини (підводна та космічна фізіологія, клінічна медицина та інше.).

Особливе значення дослідження працездатності має для характеристики фізичного розвитку підлітка. Відомо [124], що в 14-16 років у підлітків відбувається процес статевого дозрівання та пов'язана з цим перебудова нейро-гуморальної регуляції основних життєвих функцій організму. Однак, саме в цей період більшість підлітків починає регулярно займатися спортом. У зв'язку з цим відбір бажаючих в дитячі спортивні школи, а також побудова тренувального процесу потребують спеціальних знань фізіологічних особливостей цього вікового періоду, зокрема визначення функціональної можливості системи забезпечення організму киснем, яка зумовлює аеробну продуктивність.

В загальному вигляді величина фізичної працездатності визначається за максимальною кількістю зовнішньої механічної роботи, яку людина здатна виконати протягом визначеного часу, залежно від інтенсивності навантаження.

Згідно даних Bouchard et al [125] налічується більше 3000 різних тестів, які дозволяють оцінити фізичний розвиток та фізичну підготовленість, але, як вказують автори, всього лише біля 3% з них виявилися більш або менш дієвими.

У зв'язку з тим, що одним з найбільш легко визначеним в процесі роботи функціональних показників є ЧСС, багатьма дослідниками та практиками саме він враховується при визначенні працездатності. В результаті досліджень [126] була виявлена лінійна залежність між ЧСС та потужністю зовнішньої механічної роботи.

Відомо декілька методичних підходів визначення фізичної працездатності за значеннями ЧСС. Так, Seliger et al [127] рекомендують визначати ЧСС при виконанні фізичної роботи певної потужності. В даному випадку при однаковій інтенсивності прискорення серцевого ритму зворотно пропорційне фізичній підготовленості спортсмена, тобто, чим більше ЧСС, тим нижче працездатність і навпаки.

Інший підхід полягає у визначенні тієї потужності м'язової роботи, яка необхідна для підвищення ЧСС до визначеної величини. У зв'язку з тим, що другий підхід в теперішній час отримав більш широке розповсюдження не тільки в нашій країні, але і за кордоном, ми вирішили порівняти цей метод з безпосереднім визначенням працездатності.

Визначення розвиваючої потужності проведено вченими Sjostrand and Wahlund ще в 1947-48 роках [128]. Так як вказані автори визначали потужність при ЧСС 170 скор./хв, то таке визначення стало позначатися у вигляді індексу PWC (від перших літер англійського терміну працездатність – Physical Working Capacity). Величина ЧСС 170 скор./хв. була вибрана дослідниками у зв'язку з тим, що існує певна визначена зона оптимального функціонування серцево-судинної та респіраторної систем. Найбільш сприятливі умови для автоматичної активності синоатріального вузла та генерування імпульсів виникають при діяльності паузи між серцевими циклами в межах 0,35 с, тобто коли ЧСС складає 170 скор./хв. У подальшому було показано [129], що взаємовідношення між розвиненою потужністю та ЧСС має лінійний характер тільки у визначеній зоні ЧСС - до 170 скор./хв.. Не дивлячись на те, що вихідні



роботи були виконанні в 40-х роках, проба  $PWC_{170}$  отримала розповсюдження лише в 60-і роки і інтенсивно використовується і по теперішній час.

При класичному застосуванні теста  $PWC_{170}$ , запропонованого Sjostrand, ЧСС визначається при виконанні ступінчатопідвищуючої роботи на велоергометрі. Потужність зростає з 49 до 98, 147 та 196 Вт. Тривалість роботи на кожній ступені 5 хв. Робота зупиняється, коли ЧСС досягає 170 скор./хв.. Так як визначення  $PWC_{170}$  вказаним способом потребує багато часу, то багато дослідників застосовують цей тест в різних інтерпретаціях [128]. До теперішнього часу ще не існує загальної методики проведення  $PWC_{170}$ . В нашій країні вже багато десятиліть застосовуються різні варіанти  $PWC_{170}$ , запропоновані В.Л. Карпманом та інш. [130]. Для цього за результатами двох ступенів проводять екстраполяцію ЧСС до значень 170 скор. і визначають відповідну потужність роботи. Для цієї цілі в системі прямокутних координатах відкладаються точки, відповідні ЧСС при певній потужності. Через ці точки проводиться пряма, яка пересікається з відповідною ЧСС 170 скор./хв.. З точки пересікання спускається перпендикуляр на вісь абсцис, де і визначається потужність, при якій ЧСС підвищується до 170 скор./хв.. Автори пропонують вести розрахунки  $PWC_{170}$  не графічно, а за допомогою формули:

$$PWC_{170} = N_1 + (N_2 - N_1) \left( \frac{170 - HR_1}{HR_2 - HR_1} \right), \text{ де } N_{1,2} - \text{ потужність на першій та}$$

другій ступенях роботи, а  $HR_{1,2}$  – відповідно ЧСС. Вказаний спосіб був використаний нами при порівнянні тесту  $PWC_{170}$  з результатами безпосереднього визначення потужності у підлітків та чоловіків різного ступеня тренуваності при ЧСС 170 скор.хв

Як виявилось (табл. 4.20) потужність, розрахована за тестом  $PWC_{170}$  та зафіксована безпосередньо, виявилась неоднаковою. Розбіжність у величинах потужності, отриманої двома способами, склала в середньому від 14,1 до 32,2%. Це свідчить про те, що тест  $PWC_{170}$  не придатний для точних кількісних визначень фізичної працездатності підлітків та чоловіків, хоча він може бути використаний для загальної характеристики підвищення працездатності з

віком та тренуваністю. З не меншим успіхом для цієї цілі може бути використаний прямий вимір максимальної потужності, розвиненої при роботі на велоергометрі.

**Таблиця 4.20** – Показники потужності роботи на велоергометрі за тестом PWC<sub>170</sub> та при безпосередньому досягненні 170 скор.хв у нетренованих (n=16) та тренуваних підлітків (n=16) та чоловіків (n=16)

| Показники<br>Вікові групи | Потужність<br>розрахована тесту<br>по PWC <sub>170</sub> |  | Потужність зареєстрована<br>при ЧСС 170 скор.хв |  |  | Δ *)<br>% |
|---------------------------|--|--|---|--|--|-----------|
|                           | Вт   |  | Вт  |  |  |           |
| НЕТРЕНОВАНИ<br>ПІДЛІТКИ   | 141  |  | 163   |  |  | 14,0      |
| НЕТРЕНОВАНИ<br>ЧОЛОВІКИ   | 148  |  | 218   |  |  | 32,2      |
| ЮНІ<br>ВЕЛОСИПЕДИСТИ      | 153  |  | 218   |  |  | 29,9      |

Одним із загальноприйнятих методів оцінки працездатності є визначення максимального споживання кисню – МСК. Цей показник розглядають як інтегральний для визначення максимальної активності основних тканин і вегетативних функцій організму [131].

Прихильники застосування тестів з МСК виходять з того, що в циклічних видах спорту основним енергетичним джерелом служать аеробні процеси [132] і тому так звана аеробна продуктивність розглядається як факт, який визначає працездатність. Взаємозв'язок між МСК та фізичної працездатністю підкреслюється багатьма авторами [133, 134]. У зв'язку з цим МСК використовується в якості основного тесту для визначення фізичної працездатності.

Пряме визначення МСК відбувається або безпосередньо під час спортивної діяльності, або в модельних дослідженнях в лабораторних умовах.

При визначенні МСК в умовах лабораторії, застосовуються ступенеподібні підвищення навантаження. Як вказують Astrand and Saltin [135] МСК в лабораторних умовах для спортсменів високої кваліфікації може бути досягнуто лише в тих випадках, коли тип виконуваної роботи та її інтенсивності наближуються до умов спортивної діяльності. При визначенні МСК у осіб різного віку невисокого ступеня тренуваності вказані фактори не мають суттєвого значення. У зв'язку з тим, що експериментальне визначення МСК являється важко виконуваним для досліджуваних та потребує від експериментатора певних знань та навичок, широке застосування оцінки працездатності таким методом досить складна.

Більш широке розповсюдження отримали розрахунки МСК за номограмою, яку запропонували Astrand and Ryhming [136]. Як показали проведені нами порівняння (табл. 4.21), у юних велосипедистів і тим більш у дорослих спортсменів величини МСК, отримані прямим методом, виявились значно вищі розрахованих за номограмою. Для нетренованих величини МСК розраховані по номограмі, не мали суттєвих відмінностей з зареєстрованими.

Було виявлено, що при використанні номограми, шкала ЧСС обмежена 170 скор./хв., а у спортсменів ЧСС при субмаксимальному навантаженні може досягати більш високих величин.

Також в деяких випадках МСК для спортсменів розрахувати за номограмою неможливо, тому що шкала споживання кисню при субмаксимальному навантаженні не перевищує 3,1 л/хв, тоді як у спортсменів вона може бути вище 4 л/хв.

**Таблиця 4.21** – Порівняння значень споживання кисню при навантаженні субмаксимальної та максимальної потужності, отриманих розрахованим шляхом за номограмою Astrand and Ryhming та виміряних прямим методом у різних груп осіб, які виконували роботу на велоергометрі

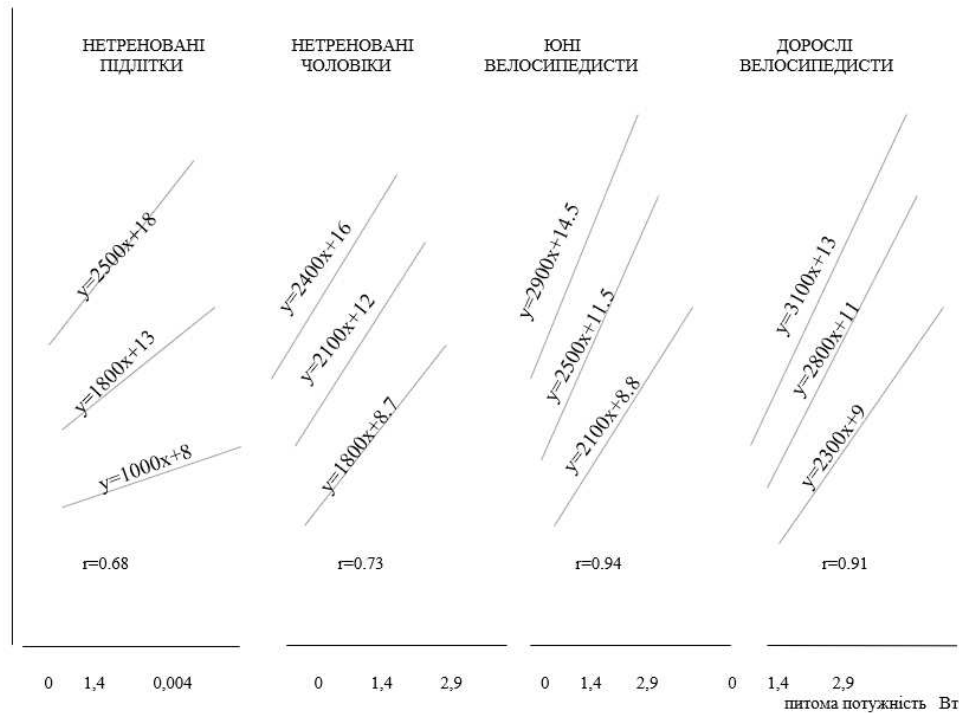
| Показники    | Спож. O <sub>2</sub> на субмакс. навантаженні | МСК | Δ *) % |
|--------------|---|-----|--------|
| Вікові групи |   |     |        |

## Продовження таблиці 4.21

|                         | розраховане |              | виміряне |              | розраховане |              | виміряне |              | Субмакс.<br>Спож. O <sub>2</sub> | Макс.<br>Спож. O <sub>2</sub> |
|-------------------------|-------------|--------------|----------|--------------|-------------|--------------|----------|--------------|----------------------------------|-------------------------------|
|                         | мл/хв       | мл/<br>хв.кг | мл/хв    | мл/<br>хв.кг | мл/хв       | мл/<br>хв.кг | мл/хв    | мл/<br>хв.кг |                                  |                               |
| НЕТРЕНОВАНІ<br>ПІДЛІТКИ | 2070        | 35,9         | 1994     | 34,9         | 2100        | 36,3         | 2260     | 39,3         | 3,76                             | 6,15                          |
| НЕТРЕНОВАНІ<br>ЧОЛОВІКИ | 1850        | 25,4         | 2118     | 29,7         | 2550        | 35,0         | 2515     | 33,8         | 14,1                             | 1,39                          |
| ЮНІ<br>ВЕЛОСИПЕДИСТИ    | 2540        | 39,1         | 2617     | 40,3         | 2420        | 37,2         | 3025     | 45,8         | 2,94                             | 19,9                          |

Вказане свідчить про те, що номограма Astrand and Ryhming не завжди придатна для точного визначення МСК у юних спортсменів. Так якщо в різних вікових групах із значними відмінностями в показниках працездатності цей метод ще може якимось чином бути використаним, то в тих випадках, коли досліджувана група майже однакова за ступенем тренуваності, особливо спортсменів, визначення аеробної здатності і пов'язаного з цим МСК за номограмою не завжди дозволяють скласти правильне уявлення про ступень тренуваності.

З допомогою кореляційного аналізу ми спробували оцінити взаємозв'язок питомої потужності, розвиненої в процесі виконання фізичного навантаження з основними параметрами зовнішнього дихання, кровообігу, КТФК та РМК. Були побудовані рівняння регресії та розраховані відповідні коефіцієнти кореляції. Найбільший ступінь кореляції у всіх досліджуваних груп було виявлено між питомою потужністю та швидкістю транспортування кисню артеріальною кров'ю, ХОК (рис. 4.25), кисневим ефектом серцевого скорочення. При цьому у спортсменів коефіцієнти кореляції були найвищими. Знайдені рівняння регресії довірених границь можуть бути використанні і при оцінці працездатності.



**Рисунок 4.25** – Коефіцієнти кореляції, рівняння ліній регресії та довірених інтервалів між питомою потужністю виконуваної роботи та хвилиним об'ємом крові ( $\dot{Q}$ ) у різних груп досліджуваних груп осіб

Як показали дослідження останніх років, МСК залежить не тільки від потреби організму в кисні, але і від того, наскільки ефективні та економічні функції зовнішнього дихання та кровообігу, що забезпечують поетапне його переміщення в організмі, тобто надходження в легені, альвеоли, транспортування артеріальною кров'ю, а також від того, наскільки велика здатність тканин утилізувати доставлений кисень. Також було проаналізовано, що МСК, навіть зареєстроване прямим методом, не завжди відображає рівень фізичної працездатності. Для більш детального аналізу функціональних можливостей організму, як показали наші дослідження, може бути використаний підхід для оцінки функціонального стану, заснований на аналізі зміни дихання, кровообігу, КТФК, РМК та їх регулювання.

В якості тестових навантажень бажано застосовували наступні:

- 1) для виявлення максимальної продуктивності – навантаження з МСК;

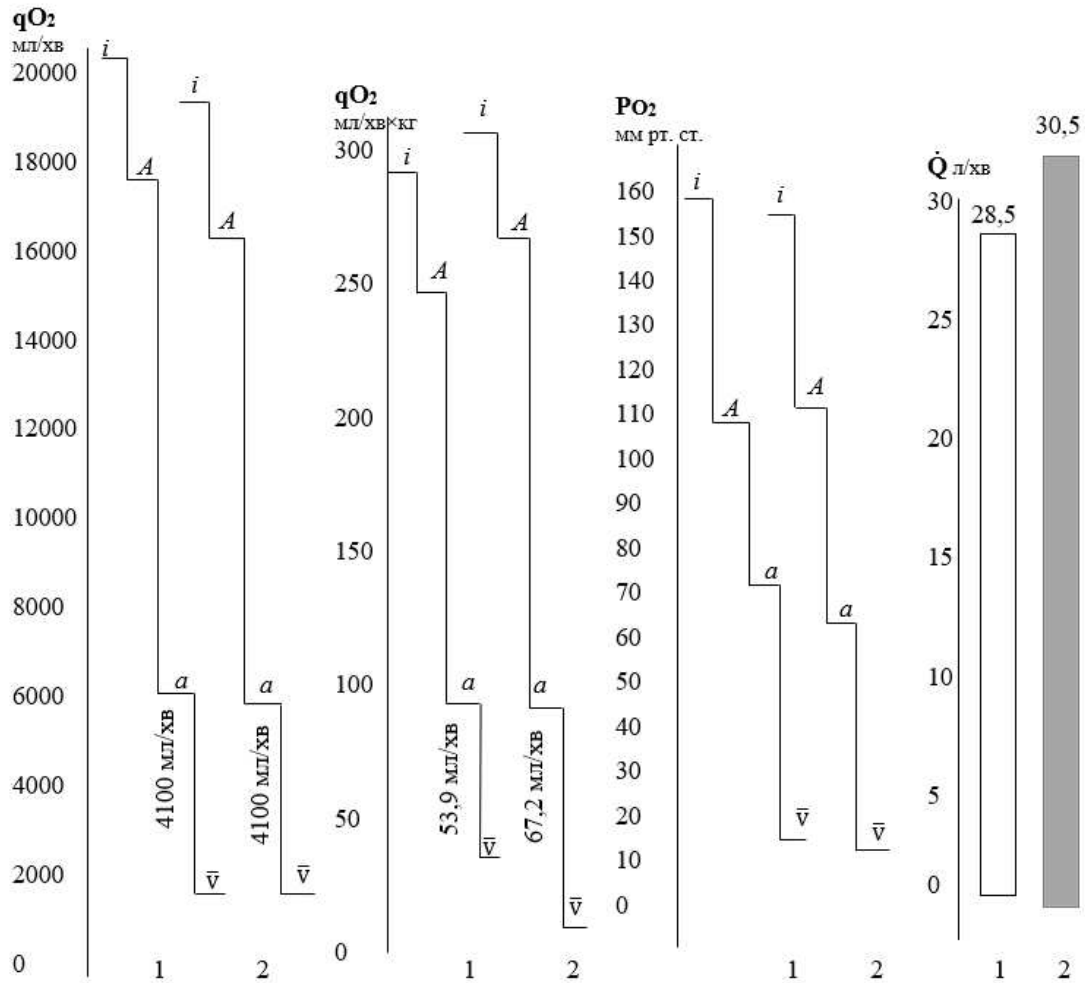
2) для виявлення максимальної ефективності та економічності РМК – навантаження зі споживанням кисню 40-50% МСК;

3) для виявлення максимальної анаеробної продуктивності – короткочасне (1-2 хв) навантаження субмаксимальної інтенсивності із споживанням кисню 80-85% МСК. При аналізі особлива увага приділялась змінам в перехідних режимах – від спокою до навантаження, від навантаження меншої інтенсивності до навантаження більшої інтенсивності, від навантаження до спокою (відновлювальний період).

Комплексний підхід дозволив виявити ланки, що обмежують постачання організму киснем та пов'язану з ним працездатність.

В якості зображення переваг комплексного методу наведемо порівняння змін РМК спортсменів однакової кваліфікації, у яких максимальна швидкість споживання кисню була однаковою (рис. 4.26), хоча функції дихання, кровообігу та механізми, що забезпечують цю швидкість споживання кисню були різними.

Споживання кисню у спортсмена Д. 4100 мл/хв забезпечувалась меншою, ніж у спортсмена М., швидкістю надходження кисню до легень, альвеол, транспортування його артеріальною кров'ю. Порівняння каскадів інтенсивності просування кисню та інтенсивності його споживання (рис. 4.26) 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.

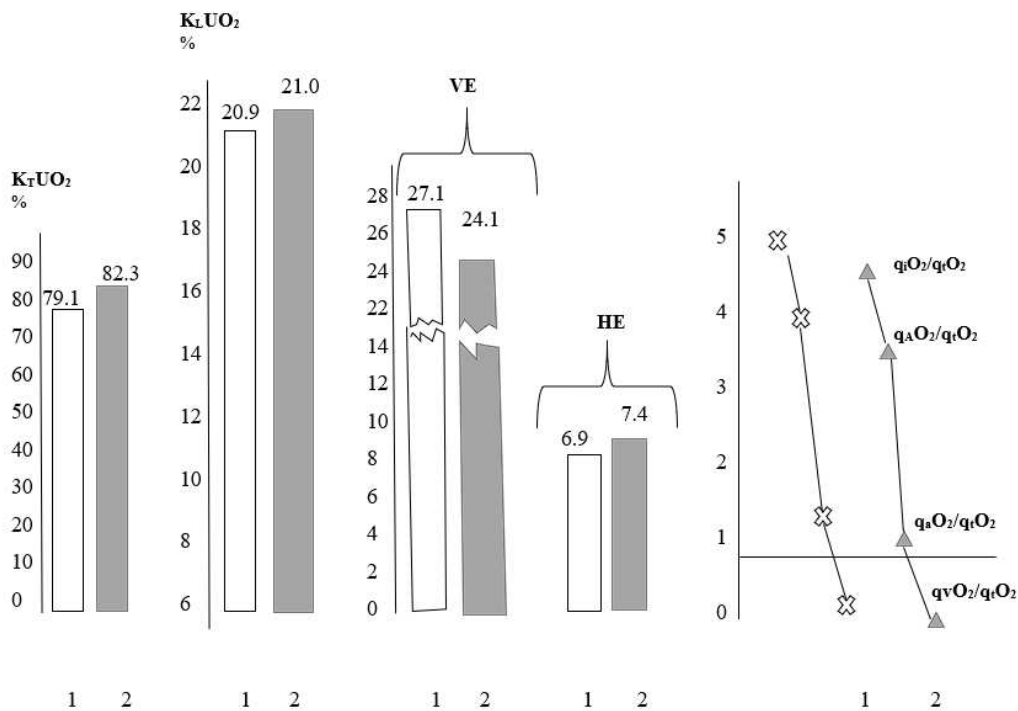


**Рисунок 4.26** – Каскади швидкості ( $qO_2$ ), надходження кисню до легень ( $i$ ), альвеол ( $A$ ), транспортування його артеріальною ( $a$ ) та змішаною венозною ( $\bar{v}$ ) кров'ю, відповідно значення  $pO_2$ , а також хвилинний об'єм крові ( $Q$ ) у велосипедистів М. (1) та Д. (2) при МСК

Завдяки високому ступеню  $KU_{T}O_2$  (рис. 4.27), загальний його резерв в змішаній венозній крові у спортсмена Д. виявився більш низьким, що свідчило про підвищену ефективність КТФК. Функція зовнішнього дихання у Д. також була більш ефективною, про що свідчили більш високий  $KU_L O_2$  та низький  $VE$  (рис. 4.27).

Більш високий  $P_{A}O_2$  та низький  $P_{\bar{v}}O_2$  у Д. свідчили про більше напружене РМК.

Кращий рівень тренованості Д. був виявлений при порівнянні ефективності РМК (рис. 4.27). Для споживання кожного літру кисню у цього спортсмена меншою була кількість кисню, що потрапляла в легені, альвеоли, транспортувалась артеріальною кров'ю, менша частина уносила кров'ю до легень. Більш сприятливі зміни в КТФК у спортсмена Д. спостерігались не тільки при МСК, але і протягом всієї тривалості роботи (рис. 4.28). Менше  $q_tO_2$  було у нього на першій та другій ступенях навантаження, що вказувало на знижену кисневу вартість роботи та більш високий ККД. Якщо врахувати ще те, що в спокої до роботи  $q_tO_2$  та у спортсмена Д. була більшою, то виявилось, що регулювання КТФК та РМК в цілому у нього були більш ефективні.

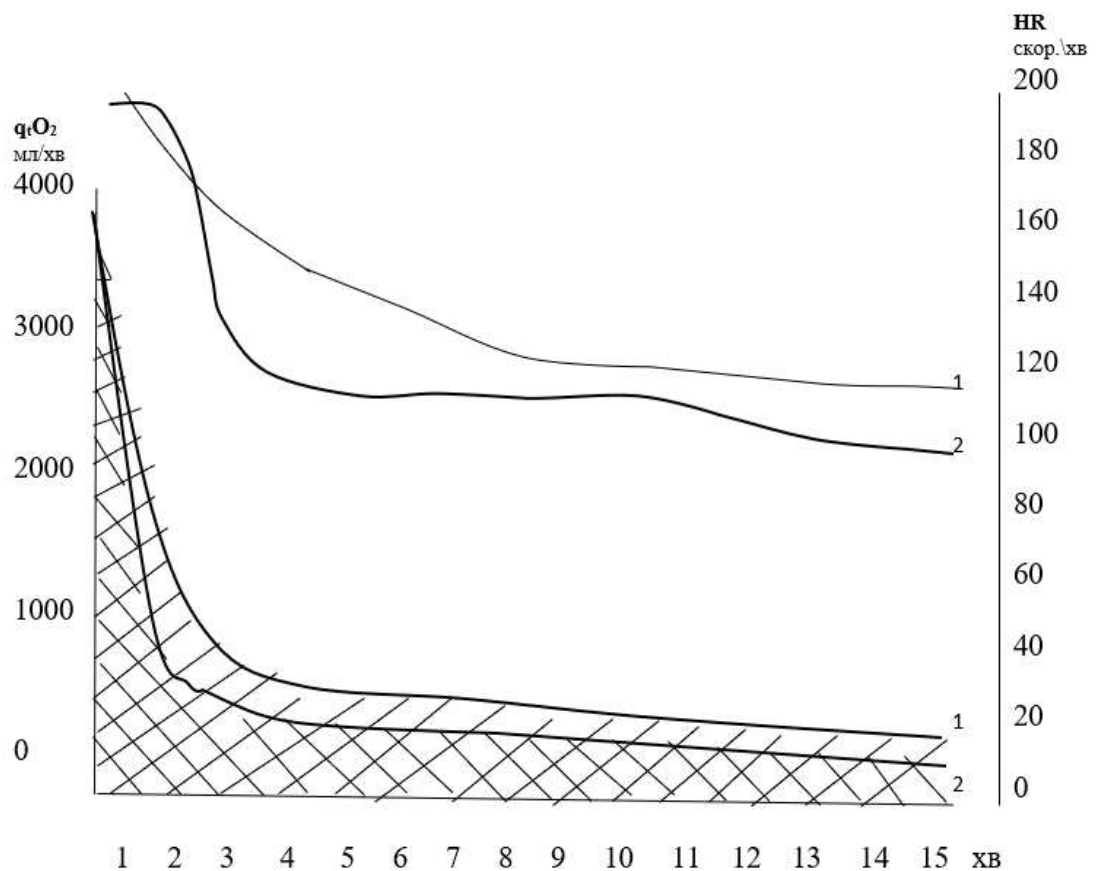


**Рисунок 4.27** –  $K_{T}O_2$  та  $K_{L}O_2$ , VE та HE, а також параметри ефективності РМК у велосипедистів М. (1) та Д. (2) при МСК

Одразу після зупинки роботи  $C_aO_2$  та  $C_vO_2$  різко зростали в обох спортсменів. Більше підвищення у Д. в перший момент після роботи сприяло збільшенню, що було менш виражено у спортсмена Д. та вказувало на краще регулювання КТФК. Про більш ефективне регулювання КТФК та РМК в цілому у спортсмена Д. свідчили також більш швидке зниження після роботи

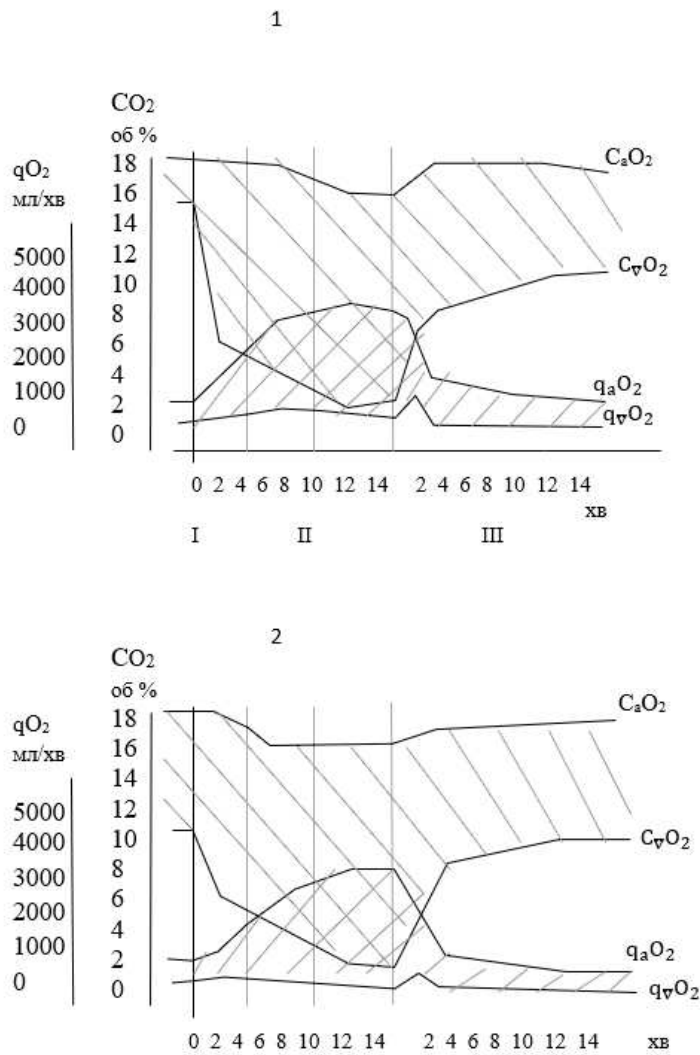


$q_tO_2$  (рис. 4.28), яке навіть на 15 хв відновлювального періоду у спортсмена Д. було нижче. Аналогічною була динаміка ЧСС. Наш висновок про те, що велосипедист Д. під час проведення дослідів виявився більш тренованим підтвердилось кращими його спортивними результатами.



**Рисунок 4.28** – Зміни  $q_tO_2$  та ЧСС (HR) в період відновлення у велосипедистів М. (1) та Д. (2)

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



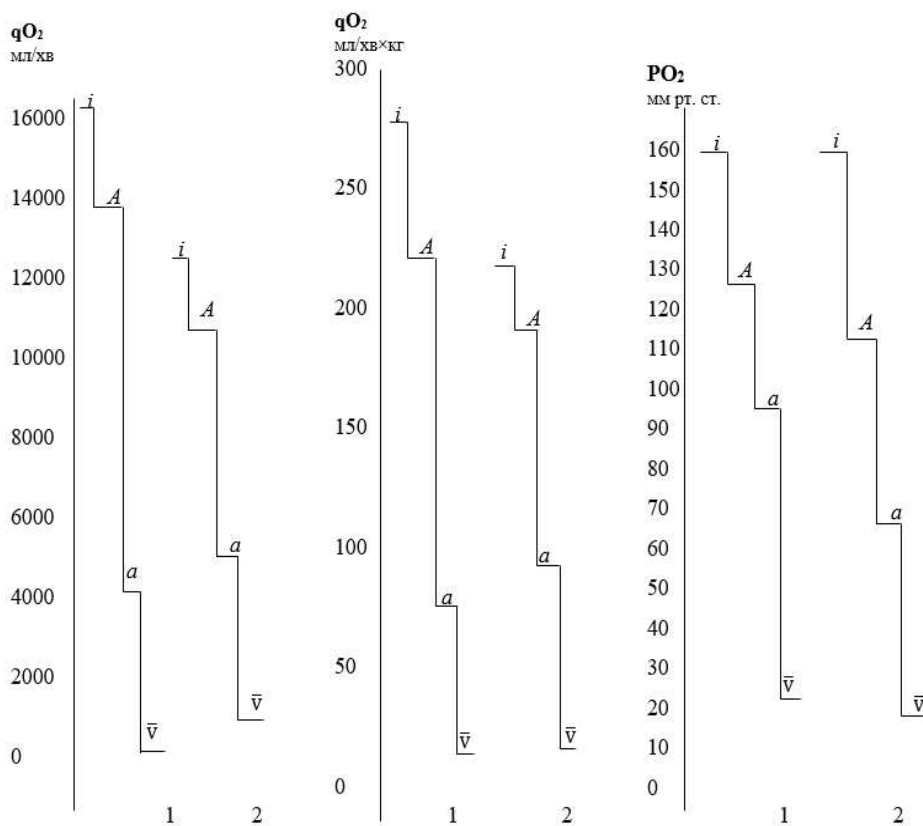
**Рисунок 4.29** – Зміни вмісту кисню (CO<sub>2</sub>) та швидкості транспортування його (qO<sub>2</sub>) артеріальною (a) та змішаною венною (v) кров'ю у велосипедистів М. (1) та Д. (2) під час вихідного стану до роботи (I), підвищуючого навантаження (II) та в найближчий відновлювальний період (III). Заштриховані площі: C<sub>(a-v)</sub>O<sub>2</sub>-\\, q<sub>t</sub>O<sub>2</sub>-///

Переваги такого підходу полягають в тому, що він дозволяє виявити окрім працездатності та ступеня тренуваності, слабкі ланки в системі постачання організму киснем. Так, наприклад більш високий ХОК у велосипедиста Д., та майже однакова максимальна ЧСС, забезпечувався більшим ніж у велосипедиста М. УО. Однак, як показали порівняння

параметрів дихальної функції крові, КЕК виявилась у Д. нижчою, ніж у М., що поряд з меншим ступенем  $S_aO_2$ , зумовлювало менше  $C_aO_2$  (рис. 4.28). Якщо у спортсмена Д. вказані параметри дихальної функції крові були такими ж, як у М., то при незмінному  $KU_T O_2$  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 їжі.

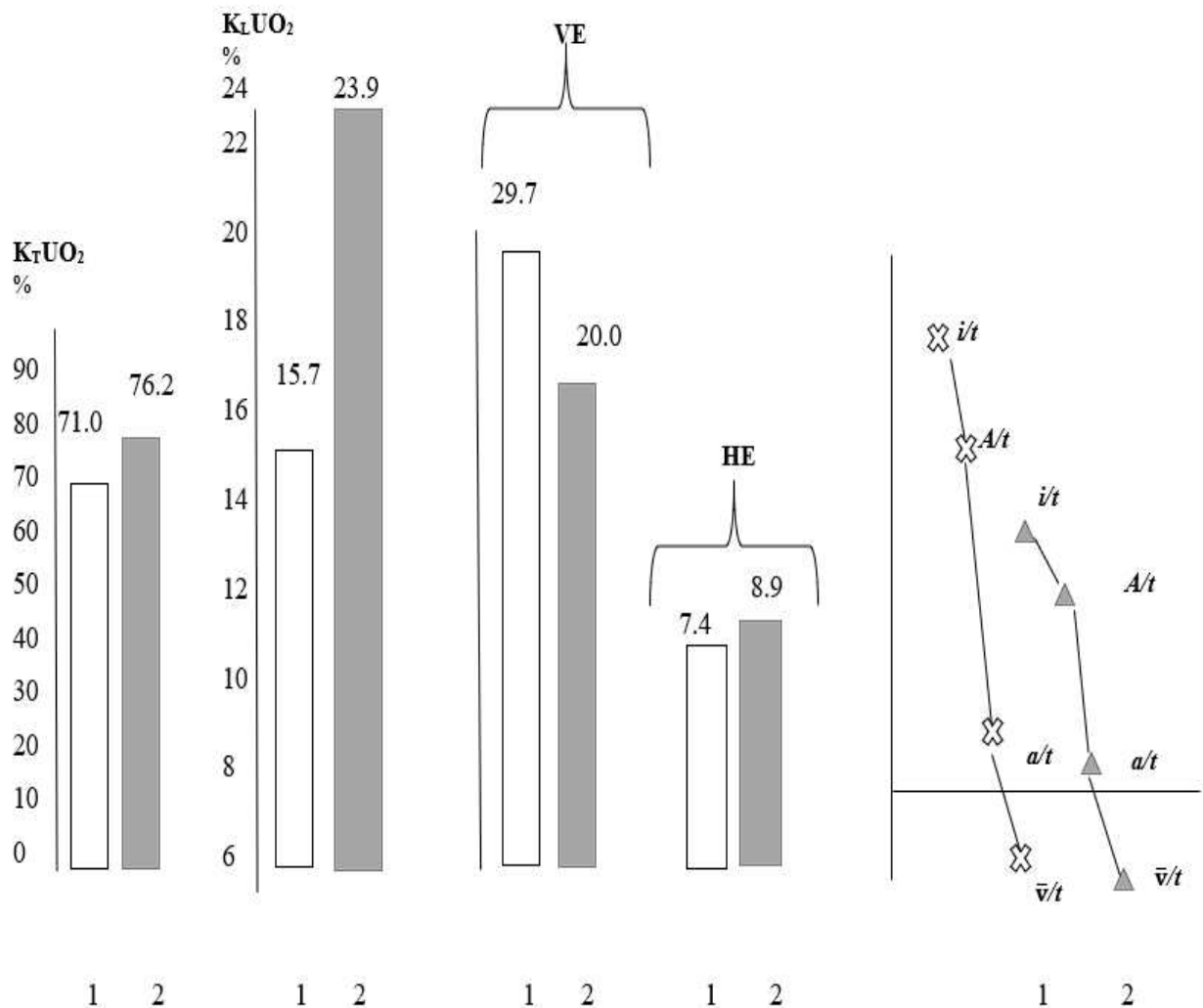
Можна навести ще один приклад переваг комплексного підходу для визначення ступеня фізичної тренуваності підлітків.

У юних велосипедистів (рис. 4.30) максимальна швидкість  $q_a O_2$  була однаковою, але більш низька швидкість  $q_v O_2$  у юного спортсмена В. свідчила про кращий  $KU_T O_2$ .



**Рисунок 4.30** – Каскади швидкості та інтенсивності ( $qO_2$ ) надходження кисню до легень (i), альвеол (A), транспортування його артеріальною (a) та змішаною венозною ( $\bar{v}$ ) кров'ю, відповідне значення  $pO_2$  на цих етапах, а також ХОК (Q) у юних спортсменів Л. (1) та В. (2) при МСК

У спортсмена В. рівень  $P_{\bar{v}O_2}$  був нижчим, що вказувало на більший ступінь тканинної гіпоксії та більш низький рівень  $PO_2$  в працюючих м'язах. Більш економічною у спортсмена В. виявилась функція зовнішнього дихання (високий  $KU_L O_2$  та низький VE (рис. 4.31).



**Рисунок 4.31** –  $KU_T O_2$  та  $KU_L O_2$ , VE та HE, а також параметри ефективності РМК у юних велосипедистів Л. (1) та В. (2) при МСК

Краща утилізація кисню тканинами та більша економічність зовнішнього дихання призвели до того, що у спортсмена В. РМК в цілому виявився більш ефективним. Аналіз зміни КТФК показав, що однакова швидкість  $q_aO_2$  у юних спортсменів Л. та В. досягалась по різному. У спортсмена Л. КЕК була на 1,9% більшою, крім того, артеріальна кров краще була насичена киснем, що призвело до більш високого  $S_aO_2$  (19,8 об% у Л. та 15,1 об% у В.). При цьому ХОК у Л. був дещо меншим, що зумовило більш низький НЕ. Більший ХОК у В. досягався здатністю серця забезпечувати УО, до 156 мл, що на 44 мл було вище, ніж у Л. Більше збільшення ХОК можна розглядати як компенсуючий механізм, що дозволив організму спортсмена В. при невисокій КСК забезпечити необхідну швидкість  $q_aO_2$  артеріальною кров'ю до тканин.

Таким чином, юний спортсмен В., не дивлячись на більш низьку  $S_aO_2$  та меншу КСК, відрізнявся більшою ефективністю РМК, кращою здатністю використання кисню тканинами, що в цілому призвело до більшої максимальної швидкості  $q_tO_2$ . Краща підготовленість В. підтвердилась в подальшому кращими спортивними результатами.

Очевидно, що для підвищення аеробної продуктивності цього спортсмена, рекомендували застосувати заходи та засоби, які спрямовані на підвищення кисневої ємності крові – тренування в гірських умовах, препарати, які підвищують кількість гемоглобіну. Вказані фактори можуть додатково збільшити споживання кисню у юного спортсмена В. на 350-500 мл/хв.

Наведені приклади показують, що комплексний підхід до оцінки функціонального стану і ступеня фізичної тренуваності дозволяє не тільки отримати свідчення про ступінь фізичної тренуваності та працездатності, але також і виявити слабкі ланки в системі постачання організму киснем.

Для аналізу взаємовідносин між основними параметрами зовнішнього дихання, гемодинаміки, дихальної та киснево-транспортної функції крові та РМК в спокої до навантаження, при м'язовій діяльності та в найближчий

відновлювальний період після неї у підлітків та чоловіків різного ступеня тренуваності був проведений кореляційний аналіз. Було виявлено, що з віком та по мірі тренуваності ці відношення змінюються (табл. 4.22). Так, у нетренованих підлітків найбільший взаємозв'язок споживання кисню був виявлений зі швидкістю транспортування кисню артеріальною кров'ю з артеріо-венозною різницею за киснем, коефіцієнтом його утилізації тканинами.

**Таблиця 4.22**– Коефіцієнт кореляції швидкості  $O_2$  з параметрами РМК в динаміці виконання роботи різної потужності у обстежуваних груп підлітків і дорослих

| Параметри            | Нетреновані підлітки | Нетреновані чоловіки | Юні спортсмени |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|
| $\dot{V}_E$          | 0,877                | 0,947                | 0,847          |
| $\dot{V}_A$          | 0,844                | 0,932                | 0,811          |
| $\dot{Q}$            | 0,903                | 0,919                | 0,971          |
| $\dot{V}_A/\dot{Q}$  | 0,726                | 0,771                | 0,339          |
| $C_{(a-\bar{v})O_2}$ | 0,978                | 0,784                | 0,890          |
| $S_aO_2$             | -0,811               | -0,653               | -0,878         |
| $q_aO_2$             | 0,971                | 0,911                | 0,967          |
| $q_tO_2$             | 1,0                  | 1,0                  | 1,0            |
| $q_{\bar{v}}O_2$     | 0,625                | 0,439                | 0,622          |
| $q_tO_{2CC}$         | 0,971                | 0,902                | 0,943          |
| $KU_T O_2$           | 0,982                | 0,871                | 0,911          |
| $P_A O_2$            | 0,494                | -0,228               | -0,253         |

Також було встановлено, що у нетренованих чоловіків  $q_tO_2$  більш тісно корелювало з функцією зовнішнього дихання, у юних велосипедистів - зі  $q_aO_2$ , ХОК,  $q_tO_{2CC}$ . У дорослих спортсменів швидкість  $q_tO_2$  в однаковій мірі корелювала і зі  $q_aO_2$ , ХОК, ХОД,  $q_tO_{2CC}$ . Такі кореляційні взаємовідношення дозволили зробити наступні висновки: у нетренованих підлітків швидкість  $q_tO_2$  в процесі перехідних періодів від спокою до навантаження, від

навантаження до спокою (період відновлення) більш тісно пов'язана з тканинними механізмами використання кисню та  $q_aO_2$ . Саме ці фактори обмежують у підлітків можливість збільшення швидкості  $q_tO_2$  при інтенсивній м'язовій діяльності. У нетренованих чоловіків КТФК та тканинні механізми утилізації кисню вже у меншій мірі лімітують  $q_tO_2$  яке знаходиться в більшій залежності від зовнішнього дихання. У дорослих спортсменів  $q_tO_2$  забезпечувалось за рахунок більш адекватної взаємодії систем дихання, кровообігу, дихальної та КТФК, що в цілому призводило до підвищення ефективності РМК та підвищення фізичної працездатності.

Таким чином, можна стверджувати, що вдосконалення системи постачання організму киснем з віком та спортивним тренуванням має певну послідовність.

#### **Висновки до розділу 4**

В результаті спортивних тренувань у підлітків збільшується ефективність гемодинаміки у відношенні доставки кисню тканинам: кожен літр кисню у них вилучається із меншої, ніж у нетренованих, кількості циркулюючої крові. Можливість збільшення споживання кисню у нетренованих підлітків лімітується не тільки меншою здатністю збільшувати його постачання до тканин, але і меншими можливостями його утилізації.

Порівняння змін КТФК та РМК нетренованих підлітків та юних велосипедистів при навантаженні інтенсивністю близько 70% МСК показали, що у юних велосипедистів виконання такої роботи супроводжується більшою, ніж у нетренованих, питомою потужністю (2,4 та 1,4 Вт). У них також загальний рівень каскадів швидкості поетапного переміщення кисню в організмі та абсолютні і відносні величини його споживання були вищі. МСК

у нетренованих підлітків обмежується, поряд з невисокою швидкістю доставки кисню, меншими можливостями його утилізації тканинами.

В результаті занять спортом підвищується не тільки МСК, але і економічність та ефективність КТФК та РМК, що поряд з великою максимальною питомою потужністю виконуваної роботи та іншими факторами, зумовлює підвищення ККД, зниження кисневої вартості максимально виконуваної роботи та збільшення працездатності.

Показано, що тест PWC170 не придатний для точних кількісних визначень фізичної працездатності підлітків та чоловіків, хоча він може бути використан для загальної характеристики підвищення працездатності з віком та тренуваністю. З не меншим успіхом для цієї цілі може бути використаний прямий вимір максимальної потужності, розвиненої при роботі на велоергометрі.

Проаналізовано, що МСК, навіть зареєстроване прямим методом, не завжди відображає рівень фізичної працездатності. Для більш детального аналізу функціональних можливостей організму може бути використаний комплексний підхід для оцінки функціонального стану, заснований на аналізі зміни дихання, кровообігу, КТФК, РМК та їх регулювання. На основі представлених прикладів показано, що такий підхід дозволяє виявляти ланки, які обмежують постачання кисню в організмі до працюючих м'язів та пов'язану з ним працездатність.

Результати роботи представлені у роботі автора [136, 137, 138].



## РОЗДІЛ 5

### АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Дослідження окремих функцій організму при м'язовій діяльності, що проводилися раніше, дозволили судити про те, які співвідношення між показниками зовнішнього дихання, кровообігу, дихальної функції крові та кисневими параметрами, як ці функціональні системи забезпечують у підлітків і дорослих різного ступеня фізичної тренуваності надходження кисню в легені, альвеоли, доставки його тканинам, за рахунок чого досягається адекватність доставки кисню артеріальною кров'ю потребам в ньому тканин, наскільки велика їх здатність утилізувати кисень, що доставляється.

Порівняно з тим, що описано в літературі, наші дослідження, які викладені у цій роботі показали, що у процесі вікового розвитку підлітка, його статевого дозрівання і, особливо, у результаті спортивного тренування відбувається збільшення потужності всієї системи забезпечення організму киснем. Про це свідчить значне збільшення швидкості надходження кисню в легені та альвеоли, дещо меншою мірою збільшення швидкості транспорту його артеріальною кров'ю. Поряд із збільшенням швидкості доставки кисню тканинам, швидкість транспорту кисню змішаною венозною кров'ю знижується, що є результатом збільшення споживання кисню і використання його з крові.

У процесі вікового розвитку підлітка і, особливо в результаті спортивного тренування, відбувається економізація всієї системи постачання тканин киснем, що призводить до більш ефективного забезпечення ним. Про це свідчать збільшені коефіцієнти використання кисню в легенях та утилізація в тканинах, менші вентиляційний та гемодинамічний еквіваленти, особливо у тренуваних осіб, вищі кисневі ефекти дихального та серцевого циклу.

Збільшення потужності кисневотранспортної системи організму, а також підвищення її ефективності та економічності обумовлене розвитком цілого ряду механізмів.

З розвитком організму підлітка змінюється загальна ємність легень (ЗЄЛ). Так, у підлітків 15-16 років ЗЄЛ становить  $\frac{2}{3}$  дорослих. За даними низки авторів [93, 94], змінюється не тільки ЗЄЛ, але й її компоненти і співвідношення з-поміж них. З віком ЗЄЛ зростає за рахунок життєвої ємності легень (ЖЄЛ). Це призводить до того, що з віком збільшується дихальний об'єм. Так як при більшому дихальному об'ємі відношення альвеолярної порції повітря до об'єму легеневого резервуара збільшується, то створюються сприятливіші умови для газообміну в легенях. Розвиток зазначених пристосувальних механізмів проводить до того що, ЖЄЛ у спортсменів досягає більших величин.

Таким чином, стає зрозумілим, чому при навколограничних і граничних навантаженнях і при майже однакої максимальній частоті дихання у підлітків і дорослих, швидкість надходження кисню в легені та альвеоли у останніх виявляється значно вищою.

Ще більшою мірою удосконалюється функція зовнішнього дихання внаслідок занять спортом. Поряд з додатковим збільшенням ЗЄЛ та ЖЄЛ та дихального об'єму, тренування призводять до тонкої координації дихання з видом м'язової діяльності. Це також сприяє кращому використанню кисню в легенях. Як виявляється, що чим більш тренований організм і чим звичніша для нього дана робота, тим за інших рівних умов повніше використовується кисень, що надходить до легень.

Незважаючи на те, що підвищена швидкість надходження кисню до легень та альвеол свідчать про великі можливості органів зовнішнього дихання, вентиляція та газообмін збільшуються під час роботи у підлітків та дорослих неоднаковою мірою. Така невідповідність обумовлена цілою низкою причин: одна з них - менша дифузійна здатність легень у підлітків та у нетренованих осіб порівняно з спортсменами. Як свідчать дослідження [139], при напруженій м'язовій діяльності недостатня швидкість дифузії через легеневу мембрану у нетренованих осіб обмежує переміщення кисню до крові.

Вищі величини дифузійної здатності легень у спортсменів є наслідком тренування. З віком та в міру тренуваності підвищується киснева ємність крові, що за інших рівних умов забезпечує більш високий вміст кисню в артеріальній крові.

Дуже важливе значення для забезпечення нормальної артеріалізації крові в легенях має співвідношення між альвеолярною вентиляцією і кровотоком в легенях, яка також стає більш сприятливою з віком і, особливо, в результаті спортивного тренування [140].

У міру вікового розвитку та при систематичних заняттях спортом, навіть у підлітковому віці відбувається морфологічна та функціональна перебудова серцево-судинної системи, що проявляється як в зміні динаміки серцевих скорочень, так і збільшенні об'єму серця. Якщо у нетренованих підлітків об'єм серця становить близько 580 см<sup>3</sup>, то у чоловіків – 790 см<sup>3</sup>, у спортсменів він збільшується до 900-950 см<sup>3</sup>. Разом із збільшенням об'єму серця, у спортсменів при м'язовій діяльності відбувається повніше випорожнення шлуночків за рахунок кращої скорочувальної здатності серцевого м'яза, що зумовлює більш повне використання залишкового об'єму крові.

Підвищена здатність крові приєднувати кисень та висока об'ємна швидкість кровотоку забезпечують більшу швидкість транспортування кисню артеріальною кров'ю.

Однак, можливість збільшення споживання кисню залежить не тільки від доставки кисню з кров'ю, але також і від здатності тканин його утилізувати. З віком збільшується м'язова маса, підвищується капілярна мережа, що призводить до збільшення дифузійної поверхні кисню в тканинах. В результаті спортивних тренувань збільшується кількість відкритих капілярів. Як показали дослідження низки авторів [141, 142, 143], при напруженій м'язовій діяльності, настає втома, в діяльний стан залучаються нейромоторні одиниці, що раніше знизилися в стані спокою [144]. Це призводить до того, що вони починають функціонувати і у м'язах відкриваються додаткові капіляри. Це

підтверджується іншими роботами, що вказують на функціональне пристосування м'язів [145, 146].

Багатьма авторами показано [147, 148, 149], що при гіпоксії окремих тканин та органів у них збільшується щільність капілярів. Так як при фізичній роботі в працюючих м'язах виникає більший або менший гіпоксичний стан, то це також може сприяти збільшенню загальної капіляризації і таким чином дифузійної поверхні.

Величезне значення для підвищення утилізації кисню з крові має механізм регуляції внутрішньоорганного кровообігу. У цьому велика роль належить артеріо-венозним анастомозам, які при фізичному навантаженні здатні закриватися і обмежувати через них холостий потік крові, що більшою мірою виражено у спортсменів [150].

Крім функціонального пристосування відбувається морфологічна перебудова скелетних м'язів, що виражається в утворенні нових м'язових волокон [151]. Між цими волокнами проростають петлі капілярів, що також збільшує площу дифузії.

У розвитку механізмів утилізації кисню тканинами особливе місце належить міоглобіну, кількість якого, за даними ряду авторів [152, 153], із віком та в результаті спортивного тренування збільшується.

Тренування м'язів веде до підвищення інтенсивності процесів окисного фосфорилування, посилення якого призводить до підвищення рівня вмісту глікогену та фосфорних сполук у м'язах [154]. Рівень останніх також визначає швидкість споживання кисню.

Внаслідок вікового розвитку та, особливо під впливом спортивного тренування, підвищується активність окисних ферментів, зокрема цитохромоксидази [155].

Наявність всіх вищевказаних факторів при м'язовій діяльності призводить до підвищення здатності м'язової тканини утилізувати кисень,

значному збільшенню артеріо-венозної відмінності за киснем при нижчій його напрузі в тканинах, що підтверджується нашими дослідженнями.

Далі нами було показано, що вдосконалення системи постачання організму киснем йде нерівномірно. Дихання, кровообіг та тканинні механізми утилізації кисню з віком та у процесі тренування розвиваються неоднаково. Проведений нами кореляційний аналіз дозволив виявити, що у підлітковому віці, навіть незважаючи на спортивне тренування, дихання у відношенні забезпечення організму киснем ще не таке ефективне, тоді як ефективність КТФК вже вища. Ефективність підвищується із віком, що ми спостерігали у нетренованих чоловіків. Найефективніше співвідношення спостерігаються у дорослих спортсменів, у яких і зовнішнє дихання, і кровообіг, і КТФК і тканинні механізми утилізації кисню однаковою мірою сприяють збільшенню швидкості споживання кисню.

Зазначені зміни у системі дихання, кровообігу, КТФК призводять до того, що характеристики РМК з віком та у процесі тренування значно змінюються і вдосконалюються. Як показали проведені нами дослідження, РМК нетренованих підлітків при динамічній м'язовій діяльності з максимальною та субмаксимальною інтенсивністю відрізняються від РМК чоловіків нижчим загальним рівнем каскадів швидкості поетапного просування кисню в організмі. Тобто менша швидкість споживання кисню обумовлена меншою швидкістю його надходження до легень та альвеол, транспорту артеріальною кров'ю. При навантаженнях однакової інтенсивності, (% МСК), питома потужність роботи в підлітків нижче, ніж у чоловіків. Менші величини питомої потужності і швидкості споживання кисню при однаковій інтенсивності роботи (%МСК) обумовлена у підлітків обмеженими можливостями зовнішнього дихання і гемодинаміки, а також меншою здатністю тканин утилізувати кисень, що доставляється.

При максимальних навантаженнях ступінь впливу глибини та частоти дихання у підлітків та чоловіків однакова, тоді як у останніх у збільшенні

легеневої вентиляції важливе значення має можливість підвищення дихального об'єму, ніж почастішання дихання. Менша величина легеневої вентиляції у підлітків призводить до того, що швидкість надходження кисню в легені у них виявляється нижчою за чоловіків. Дуже важливим показником, що зумовлює меншу швидкість надходження кисню до альвеол у підлітків є невисоке відношення альвелярної вентиляції та легеневої. Все це призводить до того, що функція зовнішнього дихання у підлітків виявляється недостатньо економічною та ефективною. Підтвердженням таких висновків є нижчі, ніж у чоловіків коефіцієнт використання кисню в легенях і кисневий ефект дихального циклу, а також високий вентиляційний еквівалент.

Поряд із цим, КТФК у підлітків також менш ефективна. Хоча максимальна ЧСС мало відрізняється у тренуваних підлітків і чоловіків, максимальний ХОК у підлітків менший. Це пояснюється більш обмеженою здатністю серця збільшувати систолічний об'єм при м'язовій діяльності.

Менша швидкість кровотоку не забезпечує високої швидкості транспорту кисню з артеріальною кров'ю, проте збільшення швидкості споживання кисню у підлітків обмежується не тільки низькою швидкістю доставки кисню до працюючих м'язів, але і меншими можливостями його використання тканинами. У зв'язку з меншою утилізацією кисню, у підлітків артеріо-венозна відмінність за киснем під час фізичного навантаження нижче, а не використаний запас кисню у змішаній венозній крові по відношенню до споживання кисню вищий, ніж у чоловіків. Найгірша можливість використання кисневого резерву змішаної венозної крові у підлітків є причиною меншого зниження напруги в ній кисню. Невисока артеріо-венозна відмінність за киснем та низький коефіцієнт його використання з крові тканинами зумовлюють більший гемодинамічний еквівалент. Менша швидкість споживання кисню при майже однаковій максимальній ЧСС призводить до того, що у підлітків кисневий ефект серцевого скорочення нижчий, ніж у чоловіків.

Описані вікові відмінності в системі постачання організму киснем свідчать про те, що співвідношення між швидкістю надходження кисню в легені, альвеоли, транспорту його артеріальною, змішаною венозною кров'ю та швидкістю його споживання у підлітків виявляються вищими ніж у чоловіків, що характеризує меншу ефективність РМК.

Виявлені особливості змін КТФК та МСК підлітків вказують на своєрідність системи постачання організму киснем, що необхідно враховувати при дозуванні навантажень у цьому віці.

Суттєві відмінності КРС та КТФК при динамічній м'язовій діяльності виявлені не тільки у підлітків та дорослих, але ще й більшою мірою у нетренованих та тренуваних осіб. Як показали проведені дослідження, внаслідок занять спортом значно підвищується швидкість поетапної доставки кисню до тканин. Поряд із збільшеною доставкою кисню тканинам швидкість його транспорту змішаною венозною кров'ю стає меншою. Ще більше знижується співвідношення між кількісним поетапним рухом кисню в організмі зі швидкістю його споживання, що наряду з підвищеною потужністю кисенево-транспортної системи організму свідчить про високу її ефективність. Навантаження з МСК дорослими спортсменами виконуються за меншої інтенсивності надходження кисню до легень та альвеол та однакової інтенсивності транспорту його артеріальною кров'ю. Інтенсивність споживання кисню у дорослих вища за рахунок кращої утилізації кисню тканинами, в результаті чого транспорт кисню змішаною венозною кров'ю у них значно нижчий.

Таким чином, в результаті спортивного тренування не тільки у зрілому, а й у підлітковому віці ефективність та економічність КТФК при МСК значно підвищується. Внаслідок занять спортом у підлітковому віці значно збільшується коефіцієнт використання кисню тканинами з артеріальної крові. Краще використання кисню призводить до того, що гемодинамічний еквівалент стає нижчим: у нетренованих підлітків кожен літр кисню

витається тканинами з 9,2 літрів циркулюючої крові, у чоловіків з 8,8, у юних велосипедистів це співвідношення ще нижче 8,0 і у дорослих спортсменів необхідно лише 6,8 літрів крові. Поряд з цим у нетренованих як підлітків, так і дорослих максимальні величини ХОК нижчі, ніж у юних і дорослих спортсменів, що пояснюється меншими можливостями збільшення систолічного об'єму крові. У дорослих спортсменів кисневий ефект серцевого скорочення значно більший, ніж у тренуваних підлітків та нетренованих чоловіків.

Велика економічність та ефективність КТФК спортсменів знаходять собі пояснення у розвитку механізмів, які забезпечують повнішу утилізацією кисню тканинами. Незважаючи на те, що спортсмени при фізичному навантаженні зазнають великої артеріальної гіпоксемії, вміст кисню в артеріальній крові у них більший ніж у нетренованих. Це пов'язано з тим, що втрата води та гемоконцентрація призводять до згущення крові та підвищення її кисневої ємності. Вміст кисню у змішаній венозній крові у спортсменів знижується до нижчих величин. З початком м'язової роботи більш різке зниження вмісту кисню у змішаній венозній крові виявлено у дорослих спортсменів і свідчить про те, що навантаження навіть невисокої інтенсивності забезпечується у них більш швидким включенням тканинних механізмів утилізації кисню. Регулювання КТФК та РМК загалом у дорослих спортсменів стає більш ефективним.

Більш низькі величини вмісту кисню у змішаній венозній крові свідчать про те, що артеріо-венозна відмінність за киснем у спортсменів у процесі м'язової діяльності збільшується більше.

У той самий час швидкість споживання кисню підвищується і в нетренованих і у спортсменів переважно за рахунок збільшення швидкості транспорту кисню артеріальною кров'ю. Більш високі артеріо-венозна відмінність за киснем і коефіцієнт його використання тканинами призводять до того, що швидкість транспорту кисню змішаною венозною кров'ю,



незважаючи на підвищений ХОК, у спортсменів і особливо у дорослих виявляється на нижчому рівні. Зазначений факт видається дуже важливим і вказує на те, що у нетренованих підлітків та у чоловіків у порівнянні зі спортсменами швидкість споживання кисню обмежується не тільки неможливістю збільшувати швидкість доставки кисню до тканин, але також меншою здатністю його використання. Якщо порівняти навіть юних велосипедистів із дорослими спортсменами, то виявляється, що підвищення коефіцієнта утилізації кисню сприяло би збільшенню його споживання на 400-450 мл/хв, а швидкість транспорту кисню змішаною венозною кров'ю була б такою, як у дорослих спортсменів. Безпосередньо після припинення роботи вміст кисню в артеріальній крові і, особливо, змішаній венозній підвищується досить швидко, при цьому швидкість транспорту кисню артеріальною кров'ю відразу знижується, що більшою мірою проявляється у спортсменів. Таке зниження швидкості транспорту кисню артеріальною кров'ю у цей час не є результатом зниження вмісту та насичення її киснем, а відбувається завдяки зменшенню ХОК. Швидкість транспорту кисню змішаною венозною кров'ю у підлітків і дорослих як нетренованих, так і спортсменів у перший момент збільшується. Коефіцієнт утилізації кисню з артеріальної крові знижується, тому "холостий" струм венозної крові до серця зростає. У спортсменів, особливо дорослих, це виражено меншою мірою, що свідчить про краще регулювання кисневотранспортної функції крові.

Парціальний тиск кисню на всьому його шляху від легень до тканин у юних і дорослих велосипедистів зазнає більш істотних змін, ніж у нетренованих підлітків і у чоловіків. При МСК в альвеолярному повітрі у підлітків як тренуваних, так і нетренованих  $PO_2$  на 5-6 мм рт. ст. менше, ніж у дорослих. Підвищення температури тіла та  $PCO_2$ , а також зниження рН не тільки венозної, а й артеріальної крові призводять до зсуву кривої дисоціації оксигемоглобіну вправо і тому напруга кисню в артеріальній крові падає не набагато [97]. В артеріальній крові величини напруги кисню не мають великих

відмінностей, але з віком і підвищенням тренуваності є тенденція до зниження. Здавалося б, що зниження напруги кисню невелике і навряд чи може викликати значне збудження хеморецепторів. Дослідження, проведені раніше на математичній моделі [156], і наші показали, що якщо під час фізичного навантаження напруга кисню в артеріальній крові знижується незначно, зниження  $PO_2$  в змішаній венозній крові призводить до вираженого збільшення коливань  $PO_2$  в альвеолярному повітрі і в артеріальній крові протягом дихального циклу. Амплітуда цих коливань в альвеолярному повітрі становить 12-13 мм рт. ст., артеріальній крові 4-8 мм рт. ст., що у 2,5 разу більше, ніж у спокої. Можна припустити, що саме ці флюктуючі зміни  $PO_2$ , ці коливання його протягом дихального циклу викликають періодичне посилення розрядів хеморецепторів і таким чином впливають на центрально-нервові механізми, що беруть участь у регуляції не тільки дихання, але і гемодинаміки. Висловлене припущення підкріплюється наявними в літературі даними хеморецепторного механізму регуляції кровотоку [157].

Напруга кисню в змішаній венозній крові з віком і в міру тренуваності достовірно знижується і рівень тканинної гіпоксії у спортсменів і особливо дорослих тому, очевидно, велика. Це вказує на те, що критичний рівень  $PO_2$  для м'язової тканини підлітків та нетренованих чоловіків вищий, ніж для дорослих спортсменів. Таким чином, з одного боку з віком та в процесі спортивного тренування значно збільшується потужність усієї системи доставки кисню, і зокрема швидкості транспорту кисню артеріальною кров'ю, що підвищує аеробну продуктивність, тобто МСК. З іншого боку, збільшення аеробної продуктивності сприяє також підвищенню ефективності постачання організму киснем, що здійснюється за рахунок збільшення артеріо-венозної відмінності за киснем та зниження резервів кисню в змішаній венозній крові. Підвищенню ефективності КТФК сприяє розвиток та вдосконалення тканинних механізмів утилізації кисню, що загалом може пояснити зниження

критичного рівня  $PO_2$  у тканинах і чому у спортсменів в цих умовах ще не знижується швидкість споживання кисню.

В результаті зазначених факторів, у процесі вікового розвитку та спортивної тренуваності підвищується ефективність та економічність РМК, що зрештою зумовлює підвищення коефіцієнта корисної дії, зниження кисневої вартості виконуваної механічної роботи та підвищення працездатності.

Таким чином, з віком та в процесі спортивного тренування відбувається розвиток та самонавчання всієї системи забезпечення організму киснем, що призводить до підвищення якості регулювання КТФК та РМК в цілому. Зокрема, для підвищення коефіцієнта використання кисню з артеріальної крові велике значення має вдосконалення тканинних механізмів його утилізації, для більшої швидкості доставки кисню - розвиток органів дихання і кровообіг, кращого переходу кисню з альвеол в кров - координація дихання відповідно до м'язової роботи і т.п.

Наведені дані дозволяють зрозуміти механізми підвищення ефективності системи постачання організму киснем в онтогенезі та у процесі спортивного тренування.

Те, що аналіз РМК в процесі м'язової діяльності дає дуже чіткі уявлення про механізми доставки та використання кисню у процесі вікового розвитку та спортивного тренування, дозволило використовувати визначення кисневих параметрів для характеристики функціонального стану та ступеня фізичної тренуваності як дорослих, так і підлітків.

Дослідження та порівняння, які ми провели у даній роботі, а також практичне застосування комплексного методу при обстеженні юних велосипедистів по велоспорту показали його високу придатність та великі переваги перед загальноприйнятим фізіологічним критерієм аеробної продуктивності тільки за показником МСК.

Проведені нами дослідження показали, що лабораторні прямі визначення рівня фізичної працездатності, а також МСК є більш інформативними, ніж розрахункові, як для підлітків так і дорослих різного ступеня фізичної тренуваності.

Також комплексний аналітичний підхід для визначення показали, що запропонований комплексний підхід для визначення режимів масопереносу кисню при фізичних навантаженнях різної потужності дозволяє досить ретельно зробити оцінку функціонального стану та ступеня фізичної тренуваності та може бути успішно застосованим для контролю за станом організму та ступенем його тренуваності.

Нам вдалося дослідити вплив змін КСК, що визначається вмістом гемоглобіну в крові, на постачання кисню до працюючих тканин. Отримані в процесі проведеного дослідження дані підтверджують результати теоретичних положень про роль кисневої ємності крові у регуляції процесу масопереносу та утилізації кисню при м'язовій діяльності. Тобто, в результаті зниження концентрації гемоглобіну при виконанні фізичних навантажень навіть невисокої інтенсивності зростає, порівняно з тим, що спостерігається зазвичай у здорових осіб, кисневий запит організму, збільшується киснева вартість роботи, більшим виявляється кисневий борг. При зниженні КСК на 12-15% норми при навантаженнях помірної інтенсивності за рахунок збільшення ХОК забезпечується, хоча і не в повній мірі, відповідна запиту доставка кисню, проте економічність гемодинаміки щодо постачання тканин та органів киснем різко знижується. При ще більшому зниженні кисневої ємності крові, як показали теоретичні розрахунки та результати безпосередніх досліджень, рівень гіпоксії навантаження зростає. Останнє підтверджується показниками венозної гіпоксемії.

Отримані дані можуть допомогти спортивним фізіологам та лікарям здійснювати контроль за тренувальним процесом, визначати функціональні резерви, прогнозувати шляхи їх реалізації. Тобто, рекомендувати тренерам

застосовувати ті чи інші навантаження або заходи, що розвивають відповідні органи або їх взаємодію тощо. Наприклад: при низькому вмісті гемоглобіну в крові та низькій кисневій ємності крові можна рекомендувати тренування в горах; при невисокій утилізації кисню тканинами - рекомендувати вправи на витривалість; при поганому використанні кисню в легенях - рекомендувати стежити за координацією дихання з м'язовою діяльністю, підбирати вправи на розвиток грудної клітки та легень і т.д.

### **Висновки до розділу 5**

Результати досліджень, які представлені в даному розділі, показали, що у процесі вікового розвитку підлітка і, особливо, у результаті спортивного тренування відбувається збільшення потужності всієї системи забезпечення організму киснем. Поряд із збільшенням швидкості доставки кисню до тканин, транспорт кисню змішаною венозною кров'ю знижується, що є результатом збільшення споживання кисню і використання його з крові, а також свідченням розвитку гіпоксії навантаження.

Проведений кореляційний аналіз дозволив виявити, що у підлітковому віці, навіть незважаючи на спортивне тренування, дихання у відношенні забезпечення організму киснем ще не таке ефективне, тоді як ефективність КТФК вже вища. Ефективність підвищується із віком, що ми і спостерігали у чоловіків.

Описані вікові відмінності в системі постачання організму киснем свідчать про те, що співвідношення між швидкістю надходження кисню в легені, альвеоли, транспорту його артеріальною, змішаною венозною кров'ю та швидкістю його споживання у юних спортсменів виявляються нижчими ніж у нетренованих підлітків, що характеризує більшу ефективність РМК.

Вважаємо важливим те, що виявлені особливості змін КТФК та МСК у підлітків вказують на своєрідність системи постачання організму киснем, що необхідно враховувати при дозуванні навантажень у цьому віці.

Те, що аналіз РМК в процесі м'язової діяльності дає дуже чіткі уявлення про механізми доставки та використання кисню у процесі вікового розвитку та спортивного тренування, дозволило використовувати визначення кисневих параметрів для характеристики функціонального стану та ступеня фізичної тренуваності.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз сучасних літературних джерел дозволив визначити характеристику станів при виникненні в організмі кисневої недостатності – гіпоксії. Особливостями гіпоксії, яка виникає при м'язовій діяльності – гіпоксії навантаження, є таке: на фоні підвищення функції кардіореспіраторної системи кисневий запит не задовільняється, знижується  $PO_2$  в працюючих тканинах, що обмежує споживання кисню і супроводжується розвитком венозної гіпоксемії. Також проаналізовано комплекс тих відмінностей в системах крові, кровообігу і дихання, які відрізняють підлітків від дорослих і можуть здійснювати вплив на режими масопереносу кисню в організмі при м'язовій діяльності.

2. Виконання однакових за потужністю навантажень підлітками та дорослими відбувається при різних змінах режимів масопереносу кисню: у підлітків діяльність дихальної та серцево-судинної системи менш ефективна, киснева вартість роботи вища, коефіцієнт корисної дії нижчий.

3. Виявлено, що у підлітків, на відміну від дорослих, потужність системи поетапного переміщення кисню в організмі при фізичних навантаженнях обмежується неможливістю функціонування кардіореспіраторної системи. При цьому ступінь гіпоксії навантаження не досягає таких значень як у дорослих.

4. У процесі вікового розвитку та в результаті спортивного тренування збільшується потужність системи доставки кисню, підвищується ефективність гемодинаміки щодо забезпечення тканин киснем, розвиваються механізми, що зумовлюють його повну утилізацію з крові. При МСК у юних велосипедистів швидкість транспортування кисню змішаною венозною кров'ю була на 160 мл/хв меншою, ніж у нетренованих чоловіків.

5. Однією з основних причин великої кисневої вартості зовнішньої механічної роботи у нетренованих підлітків та чоловіків є менші, ніж у

спортсменів, економічність кардіореспіраторної системи та ефективність режимів масопереносу кисню.

6. При обстежені дівчат з ювенільною кровотечею показано, що в результаті зниження кисневої ємності крові при виконанні фізичних навантажень навіть невисокої інтенсивності значно зростає кисневий запит організму, збільшується киснева вартість роботи, більшим виявляється кисневий борг, знижується економічність гемодинаміки (кожен літер споживаного кисню відразу після навантаження у дівчат зі зниженою КЄК вилучався з  $18,7 \pm 2,1$ , а у здорових- з  $12,7 \pm 0,53$  л циркулюючої крові), що призводило до більшого ступеня розвитку гіпоксії навантаження.

7. Встановлено, що тренування в підлітковому віці призводить до додаткового розвитку органів дихання та кровообігу, що зумовлює збільшення максимальних хвилинних об'ємів дихання та крові, а з ними і швидкості поетапної доставки кисню до працюючих м'язів, удосконалюються механізми, що сприяють кращому використанню кисню в легенях, збільшується артеріо-венозна відмінність за киснем (відповідно з  $9,6 \pm 1,1$  до  $14,6\%$ ) та коефіцієнт його утилізації тканинами ( $11,2 \pm 0,5$  до  $15,2 \pm 0,42\%$ ).

8. Чим більш тренований організм спортсмена, тим при навантаженні з максимальним споживанням кисню більшої швидкості досягає транспорт кисню артеріальною кров'ю і відбувається більш виражене зниження швидкості транспорту кисню змішаною венозною кров'ю. Останнє, разом з венозною гіпоксемією, свідчить про високий ступінь гіпоксії навантаження.

9. Напруга кисню в змішаній венозній крові при максимальному споживанні кисню з віком і в міру спортивної тренуваності знижується, що вказує на підвищену здатність тканин утилізувати кисень при нижчому в них  $PO_2$ .

10. Практика застосування нами комплексного підходу до аналізу кисневотранспортної функції крові та режимів масопереносу кисню в організмі в спокої, при руховій діяльності різної потужності і інтенсивності, в



різні вікові періоди та в залежності від тренуваності свідчить про можливість його використання для оцінки функціональних резервів організму, для визначення слабких ланок в газотранспортній системі та інших прикладних проблем.

Перспективою подальших досліджень може бути вивчення особливостей прояву гіпоксії навантаження при виконанні роботи статичного характеру.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Trayhurn P. Oxygen—A Critical, but Overlooked, Nutrient. *Frontiers in Nutrition*. 2019. Vol. 6. URL: <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00010>
2. Brahim-Horn M. C., Pouysségur J. Oxygen, a source of life and stress. *FEBS Letters*. 2007. Vol. 581, no. 19. P. 3582–3591. URL: <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.06.018>
3. Kerr R. A. EARTH SCIENCE: The Story of O<sub>2</sub>. *Science*. 2015. Vol. 308, no. 5729. P. 1730–1732. URL: <https://doi.org/10.1126/science.308.5729.1730>
4. Zimmer C. On the Origin of Eukaryotes. *Science*. 2009. Vol. 325, no. 5941. P. 666–668. URL: [https://doi.org/10.1126/science.325\\_666](https://doi.org/10.1126/science.325_666)
5. Nakazawa M. S., Keith B., Simon M. C. Oxygen availability and metabolic adaptations. *Nature Reviews Cancer*. 2016. Vol. 16, no. 10. P. 663–673. URL: <https://doi.org/10.1038/nrc.2016.84>
6. Березовский В. Напряжение кислорода в тканях животных и человека. Киев : Наук. думка, 1995. 277 с.
7. Сиротинин М. М. Гипоксия и ее значение в патологии/М.М.Сиротинин // Гипоксия. – К., 1949. – С. 19-27.
8. Treff G., Sareban M., Schmidt W. Hypoxic training in natural and artificial altitude. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin/German Journal of Sports Medicine*. 2022. Vol. 73, no. 3. P. 112–117. URL: <https://doi.org/10.5960/dzsm.2022.529>
9. Combining Hypoxic Methods for Peak Performance / G. P. Millet et al. *Sports Medicine*. 2010. Vol. 40, no. 1. P. 1–25. URL: <https://doi.org/10.2165/11317920-000000000-00000>
10. Dempsey J. A., Morgan B. J. Humans In Hypoxia: A Conspiracy Of Maladaptation?!. *Physiology*. 2015. Vol. 30, no. 4. P. 304–316. URL: <https://doi.org/10.1152/physiol.00007.2015>
11. Колчинская А.З. Кислород. Физическое состояние, работоспособность / А.З.Колчинская. – Киев: Наукова думка, 1991. – 205 с.

12. Колчинская А.З. Системы дыхания, процесс массопереноса кислорода в организме, кислородные режимы организма / А.З.Колчинская // Вторичная тканевая гипоксия. – Киев: Наукова думка, 1983. – С.5-14.
13. Longo L. D. Sir Joseph Barcroft: one victorian physiologist's contributions to a half century of discovery. *The Journal of Physiology*. 2015. Vol. 594, no. 5. P. 1113–1125. URL: <https://doi.org/10.1113/jp270078>
14. Білошицький П.В. Підсумки медико-екологічних досліджень у Приельбруссі. *Фізіологічний журнал*. – Т. 49, № 3. – 2023. – С. 36 – 46.
15. Assessment of the effect of long-term continuous stay in the artificial hypoxic gas-air environment at normal atmospheric pressure on the functional state of the cardiovascular system / A. V. Lyubimov et al. *Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy*. 2018. Vol. 16, no. 3. P. 47–53. URL: <https://doi.org/10.17816/rcf16347-53>
16. Агаджанян Н. А. Классификации гипоксических, гипо- и гиперкапнических состояний. — 2003 // *Фізіол. журн.*- 49, № 3. - С. 11-16.
17. Колчинская А. Механизмы действия традиционных и нетрадиционных средств повышения аэробной производительности спортсменов. *Наука в олимпийском спорте*. 2019; 3:145-150.
18. Hypoxia signaling in human health and diseases: implications and prospects for therapeutics / Z. Luo et al. *Signal Transduction and Targeted Therapy*. 2022. Vol. 7, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41392-022-01080-1>
19. Малкин В.Б. Острая и хроническая гипоксия /В.Б. Малкин, Е.Б. Гиппенрейтер // *проблемы космической биологии*. – М., 2007. – Т. 35. – 320 с.
20. Metabolic Adaptations May Counteract Ventilatory Adaptations of Intermittent Hypoxic Exposure during Submaximal Exercise at Altitudes up to 4000 m / M. Faulhaber et al. *PLoS ONE*. 2012. Vol. 7, no. 11. P. e49953. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049953>

21. Wheaton W. W., Chandel N. S. Hypoxia. 2. Hypoxia regulates cellular metabolism. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*. 2021. Vol. 300, no. 3. P. C385–C393. URL: <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00485.2010>
22. Arsham A. M., Howell J. J., Simon M. C. A Novel Hypoxia-inducible Factor-independent Hypoxic Response Regulating Mammalian Target of Rapamycin and Its Targets. *Journal of Biological Chemistry*. 2023. Vol. 278, no. 32. P. 29655–29660. URL: <https://doi.org/10.1074/jbc.m212770200>
23. Aw T. Y., Jones D. P. ATP concentration gradients in cytosol of liver cells during hypoxia. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*. 2005. Vol. 249, no. 5. P. C385–C392. URL: <https://doi.org/10.1152/ajpcell.1985.249.5.c385>
24. Aw T. Y., Jones D. P. Secondary bioenergetic hypoxia. Inhibition of sulfation and glucuronidation reactions in isolated hepatocytes at low O<sub>2</sub> concentration. *Journal of Biological Chemistry*. 2012. Vol. 257, no. 15. P. 8997–9004. URL: [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)34232-7](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)34232-7)
25. Cellular energy utilization and supply during hypoxia in embryonic cardiac myocytes / G. R. Budinger et al. *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*. 1996. Vol. 270, no. 1. P. L44–L53. URL: <https://doi.org/10.1152/ajplung.1996.270.1.l44>
26. Hibernation during Hypoxia in Cardiomyocytes / G. R. S. Budinger et al. *Journal of Biological Chemistry*. 2008. Vol. 273, no. 6. P. 3320–3326. URL: <https://doi.org/10.1074/jbc.273.6.3320>
27. Cellular Respiration during Hypoxia / N. S. Chandel et al. *Journal of Biological Chemistry*. 2007. Vol. 272, no. 30. P. 18808–18816. URL: <https://doi.org/10.1074/jbc.272.30.18808>
28. Aw T. Y., Jones D. P. ATP concentration gradients in cytosol of liver cells during hypoxia. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*. 1985. Vol. 249, no. 5. P. C385–C392. URL: <https://doi.org/10.1152/ajpcell.1985.249.5.c385>

29. Kaplan J. H. Biochemistry of Na,K-ATPase. *Annual Review of Biochemistry*. 2022. Vol. 71, no. 1. P. 511–535. URL: <https://doi.org/10.1146/annurev.biochem.71.102201.141218>
30. Sormendi S., Wielockx B. Hypoxia Pathway Proteins As Central Mediators of Metabolism in the Tumor Cells and Their Microenvironment. *Frontiers in Immunology*. 2018. Vol. 9. URL: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.00040>
31. Eales K. L., Hollinshead K. E. R., Tennant D. A. Hypoxia and metabolic adaptation of cancer cells. *Oncogenesis*. 2016. Vol. 5, no. 1. P. e190-e190. URL: <https://doi.org/10.1038/oncsis.2015.50>
32. Mamlouk S., Wielockx B. Hypoxia-inducible factors as key regulators of tumor inflammation. *International Journal of Cancer*. 2012. Vol. 132, no. 12. P. 2721–2729. URL: <https://doi.org/10.1002/ijc.27901>
33. Palmer B. F., Clegg D. J. Oxygen sensing and metabolic homeostasis. *Molecular and Cellular Endocrinology*. 2014. Vol. 397, no. 1-2. P. 51–58. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mce.2014.08.001>
34. Hypoxia, oxidative stress and inflammation / T. McGarry et al. *Free Radical Biology and Medicine*. 2018. Vol. 125. P. 15–24. URL: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.03.042>
35. Saraste M. Oxidative Phosphorylation at the fin de siècle. *Science*. 2019. Vol. 283, no. 5407. P. 1488–1493. URL: <https://doi.org/10.1126/science.283.5407.1488>
36. Wellen K. E., Thompson C. B. Cellular Metabolic Stress: Considering How Cells Respond to Nutrient Excess. *Molecular Cell*. 2010. Vol. 40, no. 2. P. 323–332. URL: <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2010.10.004>
37. ROS signaling under metabolic stress: cross-talk between AMPK and AKT pathway / Y. Zhao et al. *Molecular Cancer*. 2017. Vol. 16, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12943-017-0648-1>
38. Mitochondrial Calcification. *Immunometabolism*. 2021. URL: <https://doi.org/10.20900/immunometab20210008>

39. Pallafacchina G., Zanin S., Rizzuto R. Recent advances in the molecular mechanism of mitochondrial calcium uptake. *F1000Research*. 2018. Vol. 7. P. 1858. URL: <https://doi.org/10.12688/f1000research.15723.1>
40. Santo-Domingo J., Demaurex N. Calcium uptake mechanisms of mitochondria. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*. 2010. Vol. 1797, no. 6-7. P. 907–912. URL: <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2010.01.005>
41. The Interplay of Reactive Oxygen Species, Hypoxia, Inflammation, and Sirtuins in Cancer Initiation and Progression / M. Tafani et al. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2016. Vol. 2016. P. 1–18. URL: <https://doi.org/10.1155/2016/3907147>
42. Ashcheulova T., Gerasimchuk N. Relationships of oxidative stress and systemic inflammation markers depending on the degree and duration of hypertension. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, medicine*. 2022. Vol. 7, no. 2. P. 118–122. URL: <https://doi.org/10.15421/021621>
43. Milne G. L., Musiek E. S., Morrow J. D. F2-Isoprostanes as markers of oxidative stress in vivo: An overview. *Biomarkers*. 2018. Vol. 10, sup1. P. 10–23. URL: <https://doi.org/10.1080/13547500500216546>
44. Sarkar M., Niranjana N., Banyal P. Mechanisms of hypoxemia. *Lung India*. 2017. Vol. 34, no. 1. P. 47. URL: <https://doi.org/10.4103/0970-2113.197116>
45. Pathophysiology, mechanisms, and managements of tissue hypoxia / J. Mallat et al. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine*. 2022. P. 101087. URL: <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2022.101087>
46. Hypoxia: molecular pathophysiological mechanisms in human diseases / Y. Della Rocca et al. *Journal of Physiology and Biochemistry*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/s13105-022-00912-6>
47. The role of calcium in hypoxia-induced signal transduction and gene expression / K. A. Seta et al. *Cell Calcium*. 2004. Vol. 36, no. 3-4. P. 331–340. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ceca.2004.02.006>

48. Hypoxia and mitochondrial oxidative metabolism / G. Solaini et al. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*. 2010. Vol. 1797, no. 6-7. P. 1171–1177. URL: <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2010.02.011>
49. Hypoxia-inducible factor 1 is a basic-helix-loop-helix-PAS heterodimer regulated by cellular O<sub>2</sub> tension. / G. L. Wang et al. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015. Vol. 92, no. 12. P. 5510–5514. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.92.12.5510>
50. Khammash M. H. Perfect adaptation in biology. *Cell Systems*. 2021. Vol. 12, no. 6. P. 509–521. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cels.2021.05.020>
51. Gupta A., Khammash M. Universal structural requirements for maximal robust perfect adaptation in biomolecular networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2022. Vol. 119, no. 43. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.2207802119>
52. Мищенко В.С. Реактивные свойства кардиореспираторной системы как отражение адаптации к напряженной физической тренировке в спорте / В.С.Мищенко, Е.Н.Лысенко, В.Е.Виноградов. – К.: Науковий світ, 2007. – 351 с.
53. Колчинская А.З. О физиологических механизмах, определяющих тренировочный эффект средне- и высокогорья / А.З. Колчинская // Теория и практика физической культуры. – 1990. - № 4 – С.39-43.
54. Bonding D. Altitude and hypoxia training –a short review / D. Boning. // *Int J Sports Med*. – 2017. - Nov;18(8). -P.565-70.
55. Adaptation of mammals to hypoxia / F. Li et al. *Animal Models and Experimental Medicine*. 2021. Vol. 4, no. 4. P. 311–318. URL: <https://doi.org/10.1002/ame2.12189>
56. Hodkinson P. Acute Exposure to Altitude. *Journal of the Royal Army Medical Corps*. 2019. Vol. 157, no. 1. P. 85–91. URL: <https://doi.org/10.1136/jramc-157-01-15>

57. Mulyk V., Kiyko A. Changes in hemodynamic parameters affected by interval hypoxic exercises during the precontest training stage of qualified climbers. Слобожанський науково-спортивний вісник. 2017. Vol. 59, no. 3. P. 97–100. URL: <https://doi.org/10.15391/snsv.2017-3.017>
58. Hypoxia: molecular pathophysiological mechanisms in human diseases / Y. Della Rocca et al. Journal of Physiology and Biochemistry. 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/s13105-022-00912-6>
59. Rybnikova E., Lukyanova L. Molecular Mechanisms of Adaptation to Hypoxia. International Journal of Molecular Sciences. 2023. Vol. 24, no. 5. P. 4563. URL: <https://doi.org/10.3390/ijms24054563>
60. Molecular mechanisms of hypoxia-inducible factor-induced pulmonary arterial smooth muscle cell alterations in pulmonary hypertension / C. Veith et al. The Journal of Physiology. 2015. Vol. 594, no. 5. P. 1167–1177. URL: <https://doi.org/10.1113/jp270689>
61. Prihodko V. A., Selizarova N. O., Okovityi S. V. Molecular mechanisms of hypoxia and adaptation to it. Part II. Arkhiv patologii. 2021. Vol. 83, no. 3. P. 62. URL: <https://doi.org/10.17116/patol20218303162>
62. Corrado C., Fontana S. Hypoxia and HIF Signaling: One Axis with Divergent Effects. International Journal of Molecular Sciences. 2020. Vol. 21, no. 16. P. 5611. URL: <https://doi.org/10.3390/ijms21165611>
63. Li X. Novel VEGF family members: VEGF-B, VEGF-C and VEGF-D. The International Journal of Biochemistry & Cell Biology. 2019. Vol. 33, no. 4. P. 421–426. URL: [https://doi.org/10.1016/s1357-2725\(01\)00027-9](https://doi.org/10.1016/s1357-2725(01)00027-9)
64. Sadri F., Rezaei Z., Fereidouni M. The significance of the SDF-1/CXCR4 signaling pathway in the normal development. Molecular Biology Reports. 2022. Vol. 49, no. 4. P. 3307–3320. URL: <https://doi.org/10.1007/s11033-021-07069-3>



65. Transcriptional regulation of vascular endothelial cell responses to hypoxia by HIF-1 / D. J. Manalo et al. *Blood*. 2005. Vol. 105, no. 2. P. 659–669. URL: <https://doi.org/10.1182/blood-2004-07-2958>
66. Pragallapati S., Manyam R. Glucose transporter 1 in health and disease. *Journal of Oral and Maxillofacial Pathology*. 2019. Vol. 23, no. 3. P. 443. URL: [https://doi.org/10.4103/jomfp.jomfp\\_22\\_18](https://doi.org/10.4103/jomfp.jomfp_22_18)
67. Semenza G. L. HIF-1 and mechanisms of hypoxia sensing. *Current Opinion in Cell Biology*. 2019. Vol. 13, no. 2. P. 167–171. URL: [https://doi.org/10.1016/s0955-0674\(00\)00194-0](https://doi.org/10.1016/s0955-0674(00)00194-0)
68. Grocott M., Montgomery H., Vercueil A. *Critical Care*. 2007. Vol. 11, no. 1. P. 203. URL: <https://doi.org/10.1186/cc5142>
69. Ke Q., Costa M. Hypoxia-Inducible Factor-1 (HIF-1). *Molecular Pharmacology*. 2016. Vol. 70, no. 5. P. 1469–1480. URL: <https://doi.org/10.1124/mol.106.027029>
70. HIF-1: structure, biology and natural modulators / C. YANG et al. *Chinese Journal of Natural Medicines*. 2021. Vol. 19, no. 7. P. 521–527. URL: [https://doi.org/10.1016/s1875-5364\(21\)60051-1](https://doi.org/10.1016/s1875-5364(21)60051-1)
71. Methylation-dependent regulation of hypoxia inducible factor-1 alpha gene expression by the transcription factor Kaiso 2016. Vol. 70, no. 5. P. 1469–1480. URL: <https://doi.org/10.1124/mol.106.027029>
72. Tzavlaki K., Moustakas A. TGF- $\beta$  Signaling. *Biomolecules*. 2020. T. 10, № 3. C. 487. URL: <https://doi.org/10.3390/biom10030487>
73. Semenza G. L. Hypoxia-Inducible Factors in Physiology and Medicine. *Cell*. 2012. Vol. 148, no. 3. P. 399–408. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2012.01.021>
74. Dzhaliilova D., Makarova O. Differences in Tolerance to Hypoxia: Physiological, Biochemical, and Molecular-Biological Characteristics. *Biomedicines*. 2020. Vol. 8, no. 10. P. 428. URL: <https://doi.org/10.3390/biomedicines8100428>

75. Effects of age on hypoxic tolerance in women / T. Citherlet et al. *Current Issues in Sport Science (CISS)*. 2023. Vol. 8, no. 2. P. 087. URL: <https://doi.org/10.36950/2023.2ciss087>
76. Effects of Hypoxia on the Circadian Patterns in Men / G. Bosco et al. *High Altitude Medicine & Biology*. 2013. Vol. 4, no. 3. P. 305–318. URL: <https://doi.org/10.1089/152702903769192269>
77. Wilmore J.H. *Physiology of sport and exercise* / J.H.Wilmore, D.L.Costill. – Champaign, Illinois: Human Kinetics, 2014. – 726 p.
78. Ровний А. С. Фізіологія спортивної діяльності / А. С. Ровний, В. М. Ільїн, В. С. Лізогуб, О. О. Ровна. – Х., ХНАДУ. – 2015. – 556 с.
79. Уилмор Дж.Х. Физиология спорта / Дж.Х. Уилмор, Д.Л.Костилл. – К.: Олимпийская литература, 2005. – 504 с.
80. Ван Лир Э. Гипоксия / Э.Ван Лир, К.Стикней. – М.: Медицина, 1967. – 367 с.
81. Ilyin V. N. Training of the athletes with use of hypoxic conditions / V. N. Ilyin, M. M. Filippov, V. A. Pastukhova, V.V. Sosnovskiy / *Вісник Черкаського університету, серія «Біологічні науки»*. – 2017. – № 2. – С. 11 – 26.
82. Дмитрук А.И. Гипоксия и спорт: Учебно-методическое пособие /А.И.Дмитрук. – СПб.: 2007 – 44 с.
83. Свищ Я. Відповідь організму легкоатлетів спринтерів на додаткове тренування гіпоксією / Я. Свищ, М. Сибіль // *Зб. наук. праць з галузі фізичної культури та спорту. Молода спортивна наука*. – Вип. 11. – Львів: НВФ «Українські технології», 2007. – С. 228-230.
84. Бойчук Т.В. Оцінка факторів, що впливають на ефективність тренувального процесу у бігунів на середні і довгі дистанції та вплив гіпоксії на функціональний стан організму / Т.В.Бойчук, Д.В.П'ятничук, Е.Й.Лапковський // *Науковий часопис національного педагогічного університету ім. М.П.Драгоманов. серія 15. Теорія та методика навчання:*

- фізична культура і спорт. – Випуск 8. – Л.: НПУ ім. М.П.Драгоманова, 2010. – С. 134-138.
85. Малкин В.Б. Острая гипоксия. В кн. Экологическая физиология человека. Адаптация человека к экстремальным условиям среды / В.Б.Малкин. – М.: Наука, 1979. – С. 333-405.
86. Филиппов М.М. Физиологические механизмы развития и компенсации гипоксии в процессе адаптации к мышечной деятельности: Монография / М.М.Филиппов, Д.Н.Давиденко – СПб.– Киев: БПА, 2009. – 268 с.
87. Колб Дж. Факторы окружающей среды /Дж. Колб // Спортивная медицина. – К.: Олимпийская литература, 2003. – С.265-280.
88. Платонов В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В.Н.Платонов – Киев: Олимпийская литература, 2004. – 808 с.
89. Платонов В.Н. Гипоксическая тренировка в спорте /В.Н.Платонов, М.М.Булатова // Нурохіа medical. – М., 1995. – С. 17-23.
90. Иссурин В. Б. Подготовка спортсменов XXI: научные основы построения тренировки / В. Б. Иссурин – М.: Спорт, 2013 – 464 с.
91. Ільїн В.М. Особливості функціонального і психофізіологічного статусу спортсменів високої кваліфікації з ознаками хронічного стомлення / В.М. Ільїн, Р.С.Жила, Л.І.Черкес, Г.В.Рассоха, К.В.Медвідчук // Спортивна медицина. – 2007. - № 1. – С.42-45.
92. Филиппов М. Современные аспекты психофизиологического понимания надежности спортсмена // М. Филиппов, В. Ильин / Наука в олимпийском спорте. – 2014. – № 4. – С. 29-35.
93. Безруких М.М., Соньки В.Д. Фарбер Д.А. Возрастная физиология развития ребёнка. – М., 2002.
94. Карпман В.Л. Исследование физической работоспособности у спортсменов / В.Л. Карпман, З.Б. Белоцерковский, И.А. Гудков. – М.: Физкультура и спорт, 1974. – 95 с.

95. Грубар, І. Я. Анатомія людини з основами спортивної морфології [Текст] : навчальний посібник для студ. 1 курсу фак. фіз. виховання / І. Я. Грубар. – Тернопіль : [ТНПУ], 2011. – 176 с. – 20.00.
96. Starr, I. Clinical Tests of the Simple Method of Estimating Cardiac Stroke Volume from Blood Pressure and Age [Text] / I. Starr // *Circulation*. – 1954. – Vol. 9, Issue 5. – P. 664–681. doi: 10.1161/01.cir.9.5.664.
97. Филиппов М. М. Физиологические механизмы массопереноса респираторных газов, развития и компенсации гипоксии нагрузки при мышечной деятельности : монография / М. М. Филиппов, Д. Н. Давиденко. – СПб., – Киев : БПА, 2010. – 260 с.
98. Земцова І.І. Спортивна фізіологія. Навчальний посібник. – К.: Олімпійська література, 2008. – 208 с.
99. Виноградов С.И., Граменицкий П.М., Кулев А.Ф., Облапенко П.В. Сравнительное значение напряжения и содержания кислорода в крови для развития гипоксических явлений. // *Физиол. и патология дыхания, гипоксия и оксигенотерапия*. – Киев : Изд.АН УССР, 1958. – С.204-210.
100. Корольков И.И., Козинер В.В. Напряжение кислорода в мышце сердца и крови в условиях циркуляторной и анемической гипоксии. // *Кислородный режим организма и его регулирование*. – Киев: Наук. думка, 1966. – С.295-298.
101. Антикова В.А. Эффективность внешнего дыхания при напряженной мышечной деятельности : Автореф. дис. канд. биол. наук. - Киев. 1976. – 25с.
102. Виноградов В.Е. Стимуляция работоспособности и восстановительных реакций в системе тренировочных воздействий в подготовке квалифицированных спортсменов. – К.:, 2010. – 52 с.
103. Виноградов В.Е. Стимуляция работоспособности и восстановительных процессов в тренировочной и соревновательной деятельности

- квалифицированных спортсменов: Монография / В.Е.Виноградов. – К.: НПФ «Славутич-Дельфин», 2009. – 367 с.
104. Новиков А.А. Система подготовки спортсменов высокой квалификации / А.А.Новиков // Теория и практика физ. Культуры. – 2003. – №10. – С.38.
105. Меерсон Ф.З. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам / Ф.З. Меерсон, М.Г.Пшенникова. – М.: Медицина, 1988. – 256 с.
106. Комолафе Д. О., Філіппов М. М. Режими масоперенесення кисню в організмі нетренованих підлітків і чоловіків при м'язовій діяльності динамічного характеру. Вісник проблем біології і медицини. 2023 № 1 (168). С. 86–91., DOI:10.29254/2077-4214-2023-1-168-86-91
107. Комолафе Д.О., Філіппов М.М. Значення кисневої ємності крові для розвитку гіпоксії навантаження. Вісник проблем біології і медицини. 2023 №3 (170). С. 159–167., DOI:10.29254/2077-4214-2023-3-170-158-167
108. Комолафе Д.О. Особливості дихання підлітків як передумова виникнення гіпоксії при м'язовій діяльності. Молодь та олімпійський рух : зб. тез доп. XIII Міжнар. конф. молодих вчених, м. Київ,. 2020 р.Київ:НУФВСУ,URL:[https://unisport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/molod\\_xiii\\_zbirnyk2.pdf](https://unisport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/molod_xiii_zbirnyk2.pdf)
109. Комолафе Д.О., Філіппов М.М. Роль кисневої ємності крові у розвитку гіпоксії навантаження. *Modern methods of solving scientific problems of reality*. Proceedings of the XXXV International Scientific and Practical Conference, Varna, Bulgaria, 2023. DOI – [10.46299/ISG.2023.1.35](https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.35)
110. Brown K. A., Patel D. R., Darmawan D. Participation in sports in relation to adolescent growth and development. *Translational Pediatrics*. 2017. Vol. 6, no. 3. P. 150–159. URL: <https://doi.org/10.21037/tp.2017.04.03>
111. Gabbett T. Training the Adolescent Athlete. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*. 2021. Vol. 14, no. 1. P. 11–12. URL: <https://doi.org/10.1177/19417381211058410>

112. Klentrou P. (. Puberty and Athletic Sports in Female Adolescents. *Annales Nestlé* (English ed.). 2016. Vol. 64, no. 2. P. 85–94. URL: <https://doi.org/10.1159/000093015>
113. Колчинская А. З. Кислородные режимы организма ребенка и подростка. – Киев: Наук. думка, 1973. - 320 с.
114. Role of Intensive Training in the Growth and Maturation of Artistic Gymnasts / R. M. Malina et al. *Sports Medicine*. 2023. Vol. 43, no. 9. P. 783–802. URL: <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0058-5>
115. Roemmich J. N., Richmond E. J., Rogol A. D. Consequences of sport training during puberty. *Journal of Endocrinological Investigation*. 2011. Vol. 24, no. 9. P. 708–715. URL: <https://doi.org/10.1007/bf03343915>
116. Игишсва Л. Н., Казин Э. М., Галеев А. Р. Влияние умеренной физической нагрузки на показатели сердечного ритма у детей младшего и среднего школьного возраста // *Физиология человека.*- 2006.-№3.-С.55-61.
117. Михайлова, Л. А. Системогенез внешнего дыхания у здоровых детей препубертатного возраста с различной двигательной активностью / Л. А. Михайлова // *Сиб. мед. журн.* - 2004. - №2. - С. 86 - 89.
118. Пярнат Я.П., Виру А.А. Возрастные особенности физической (аэробной и анаэробной) работоспособности // *Физиология человека.* - М., 1975. - Т. 1.- № 4. -С. 692-696.
119. Павлова И.В. Возрастные особенности дыхания и газообмена у школьников 12-13 лет при статических напряжениях больших групп мышц // *Физиологические особенности организма школьника и физическое воспитание.* - Свердловск, 1986. - С. 9-17.
120. Булгакова Н. Ж. Отбор и подготовка юных пловцов. — М.: Физкультура и спорт, 1986. — С. 176—179.
121. Михайлова, Л. А. Системогенез внешнего дыхания у здоровых детей препубертатного возраста с различной двигательной активностью / Л. А. Михайлова // *Сиб. мед. журн.* - 2004. - №2. - С. 86 - 89.

122. Сонькин В.Д. Развитие энергетического обеспечения мышечной деятельности подростков // Физиология человека. - 1988. - Т. 14. - № 2. - С. 248-255.
123. Безруких М. М. Возрастная физиология (физиология развития ребенка): учеб. пособие / М. М. Безруких, В. Д. Сонькин, Д. А. Фарбер. – Москва: Академия, 2003. – 412 с. – ISBN 5-7695-0581-8
124. Practical Guide to Measuring Physical Activity / L. G. Sylvia et al. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. 2014. Vol. 114, no. 2. P. 199–208. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2013.09.018>
125. Heart Rate Monitoring in Team Sports—A Conceptual Framework for Contextualizing Heart Rate Measures for Training and Recovery Prescription / C. Schneider et al. Frontiers in Physiology. 2018. Vol. 9. URL: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00639>
126. ADAMS F. H., LINDE L. M. Physical Working Capacity: An Index of Cardiac Fitness. Diseases of the Chest. 2016. Vol. 39, no. 5. P. 577–578. URL: <https://doi.org/10.1378/chest.39.5.577>
127. Jessup G. T. Validity of the W170 test for predicting maximal oxygen intake. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. 2007. Vol. 37, no. 3. P. 191–196. URL: <https://doi.org/10.1007/bf00421774>
128. Аулик И.В. Определение физической работоспособности в клинике и спорте. М. Медицина, 1990
129. Карпман В.Л. Исследование физической работоспособности у спортсменов / В.Л. Карпман, З.Б. Белоцерковский, И.А. Гудков. – М.: Физкультура и спорт, 1974. – 95 с.
130. Alemán L. P. The Beneficial Effects of Regular Physical Activity Intradialysis. American Journal of Biomedical Science & Research. 2020. Vol. 8, no. 2. P. 78–79. URL: <https://doi.org/10.34297/ajbsr.2020.08.001244>

131. GREEN H. J., PATLA A. E. Maximal aerobic power. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2012. Vol. 24, no. 1. P. 38-46. URL: <https://doi.org/10.1249/00005768-199201000-00008>
132. Maximal Oxygen Uptake as a Parametric Measure of Cardiorespiratory Capacity / P. G. SNELL et al. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007. Vol. 39, no. 1. P. 103-107. URL: <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000241641.75101.64>
133. Estimating Maximal Oxygen Uptake From Daily Activity Data Measured by a Watch-Type Fitness Tracker: Cross-Sectional Study / S. B. Kwon et al. *JMIR mHealth and uHealth*. 2019. Vol. 7, no. 6. P. e13327. URL: <https://doi.org/10.2196/13327>
134. Saltin B., Astrand P. O. Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*. 2007. Vol. 23, no. 3. P. 353-358. URL: <https://doi.org/10.1152/jappl.1967.23.3.353>
135. Durand F., Raberin A. Exercise-Induced Hypoxemia in Endurance Athletes: Consequences for Altitude Exposure. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2021. Vol. 3. URL: <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.663674>
136. Комолафе Д.О., Філіппов М.М. Порівняння фізіологічних показників, за якими визначають фізичну працездатність підлітків і дорослих в лабораторних та "польових" умовах. *Вісник Черкаського університету. Серія біологічні науки*. 2023 №2. С. 46-54., DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2023-2-46-54
137. Komolafe D. O., Filippov M. M., Ilyin V. N., Klimenko A. V. Age features of O<sub>2</sub> mass transfer regimes in adolescents' body at rest. *Journal of Education, Health and Sport*. 2021; 11(12):344-349. eISSN 2391-8306. DOI: <http://dx.doi.org/10.12775/JEHS.2021.11.12.028>
138. Комолафе Д. О., Філіппов М. М. Особливості змін в системі зовнішнього дихання у підлітків при фізичних навантаженнях. *Science and practice in the era of globalization*. Abstracts of I International Scientific and



Practical Conference. Rotterdam, Netherlands, January 29 – 30, 2021. URL: [ISBN – 978-9-40361-447-2](#)

139. Costill D. L., Wilmore J. H. *Physiology of Sport and Exercise*. 3rd ed. Human Kinetics Publishers, 2004. 726 p.
140. Maughan R. *Physiology of sport*. *British Journal of Hospital Medicine*. 2007. Vol. 68, no. 7. P. 376–379. URL: <https://doi.org/10.12968/hmed.2007.68.7.23975>
141. Malátová R., Bahenský P., Mareš M. Breathing pattern in sports practice. *Studia Kinanthropologica*. 2016. Vol. 17, no. 3. P. 325–332. URL: <https://doi.org/10.32725/sk.2016.086>
142. *Physiology in the Journal of Sports Sciences*. *Journal of Sports Sciences*. 2006. Vol. 24, no. 5. P. 441–442. URL: <https://doi.org/10.1080/02640410600641719>
143. Li Z., Wang Y. Study on the effect of professional sports clothing on sports physiology. *Biomedical Research*. 2018. URL: <https://doi.org/10.4066/biomedicalresearch.29-16-1956>
144. Escher K., Barkley L. *Exercise Physiology and Sports Medicine*. *Current Sports Medicine Reports*. 2022. Vol. 21, no. 12. P. 416–417. URL: <https://doi.org/10.1249/jsr.0000000000001012>
145. Greig C. A., Jones D. A. *Muscle physiology and contraction*. *Surgery (Oxford)*. 2016. Vol. 34, no. 3. P. 107–114. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mpsur.2016.01.004>
146. Yoon D., Ponka P., Prchal J. T. Hypoxia. 5. Hypoxia and hematopoiesis. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*. 2011. Vol. 300, no. 6. P. C1215–C1222. URL: <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00044.2011>
147. Stubbs M. Hypoxia. *Southern African Journal of Anaesthesia and Analgesia*. 2020. P. S157–S160. URL: <https://doi.org/10.36303/sajaa.2020.26.6.s3.2563>
148. Bond D. M., Dennis E. S., Finnegan E. J. Hypoxia. *Plant Signaling & Behavior*. 2019. Vol. 4, no. 8. P. 773–776. URL: <https://doi.org/10.4161/psb.4.8.9178>

149. Stanojevic S. Respiratory physiology. *Canadian Journal of Respiratory, Critical Care, and Sleep Medicine*. 2021. Vol. 5, no. 2. P. 114–117. URL: <https://doi.org/10.1080/24745332.2021.1875935>
150. Banks R. E., Beal D. S., Hunter E. J. Sports Related Concussion Impacts Speech Rate and Muscle Physiology. *Brain Injury*. 2021. P. 1–9. URL: <https://doi.org/10.1080/02699052.2021.1972150>
151. Berenbrink M. Myoglobin's old and new clothes: from molecular structure to integrated function and evolution. *Journal of Experimental Biology*. 2020. Vol. 213, no. 16. P. 2711–2712. URL: <https://doi.org/10.1242/jeb.048918> Бпо
152. Brunori M. Structural dynamics of myoglobin. *Biophysical Chemistry*. 2000. Vol. 86, no. 2-3. P. 221–230. URL: [https://doi.org/10.1016/s0301-4622\(00\)00142-3](https://doi.org/10.1016/s0301-4622(00)00142-3)
153. Neptune R. R., McGowan C. P., Fiandt J. M. The Influence of Muscle Physiology and Advanced Technology on Sports Performance. *Annual Review of Biomedical Engineering*. 2009. Vol. 11, no. 1. P. 81–107. URL: <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-061008-124941>
154. Kudinova Y. V., Kurochkina N. E., Semyonova A. S. Sports physiology. *OlymPlus. Гуманитарная версия*. 2022. No. 2. P. 59–62. URL: [https://doi.org/10.46554/olyplus.2022.2\(15\).pp.59](https://doi.org/10.46554/olyplus.2022.2(15).pp.59)
155. Widdicombe J. G. Chemoreceptor control of the airways. *Respiration Physiology*. 1992. Vol. 87, no. 3. P. 373–381. URL: [https://doi.org/10.1016/0034-5687\(92\)90018-r](https://doi.org/10.1016/0034-5687(92)90018-r)
156. Carotid chemoreceptor modulation of blood flow during exercise in healthy humans / M. K. Stickland et al. *The Journal of Physiology*. 2011. Vol. 589, no.24. P.6219–6230. URL: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.218099>

**ДОДАТКИ**  
**ДОДАТОК А**

**Список публікацій здобувача за темою дисертації**

***Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації***

1. Комолафе Д. О., Філіппов М. М. Режими масоперенесення кисню в організмі нетренованих підлітків і чоловіків при м'язовій діяльності динамічного характеру. *Вісник проблем біології і медицини*. 2023. № 1 (168). С. 86–91. DOI: 10.29254/2077-4214-2023-1-168-86-91 Фахове видання України. *Особистий внесок здобувача полягає в організації та проведенні досліджень, обробці і аналізі результатів.*

2. Комолафе Д. О., Філіппов М. М. Значення кисневої ємності крові для розвитку гіпоксії навантаження. *Вісник проблем біології і медицини*. 2023. № 3 (170). С. 158–167. DOI: 10.29254/2077-4214-2023-3-170-158-167 Фахове видання України. *Особистий внесок здобувача полягає в організації та проведенні досліджень, обробці і аналізі результатів.*

3. Комолафе Д. О., Філіппов М. М. Порівняння фізіологічних показників, що визначають фізичну працездатність підлітків і дорослих в лабораторних та "польових" умовах. *Вісник Черкаського університету. Серія біологічні науки*. 2023. № 2. С. 46–54. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2023-2-46-54 Фахове видання України. *Особистий внесок здобувача полягає в організації та проведенні досліджень, обробці і аналізі результатів.*

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації***

1. Комолафе Д. О. Особливості дихання підлітків як передумова виникнення гіпоксії при м'язовій діяльності. *Молодь та олімпійський рух* : зб. тез доп. XIII Міжнар. конф. молодих вчених, м. Київ, 16 трав. 2020 р. Київ : НУФВСУ, 2020. С. 151–152. URL: [https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/molod\\_xiii\\_zbirnyk\\_\\_2.pdf](https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/molod_xiii_zbirnyk__2.pdf)

2. Комолафе Д. О., Філіппов М. М. Особливості змін в системі зовнішнього дихання у підлітків при фізичних навантаженнях. *Science and practice in the era of globalization*. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference, Rotterdam, Netherlands, January 29–30, 2021. С. 9–11. URL: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2021/01/I-Conference-Science-and-practice-in-the-era-of-globalization.pdf>

3. Комолафе Д. О., Філіппов М. М. Роль кисневої ємкості крові у розвитку гіпоксії навантаження. *Modern methods of solving scientific problems of reality*. Proceedings of the XXXV International Scientific and Practical Conference, Varna, Bulgaria, September 05–08, 2023. Р. 10–11. DOI: <https://isg-konf.com/modern-methods-of-solving-scientific-problems-of-reality/>

4. Комолафе Д. О., Філіппов М. М. Відмінності масопереносу кисню у підлітків і дорослих при фізичних навантаженнях. *Адаптаційні та психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту* : матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф., Київ–Черкаси, 7–8 грудня 2023 р. Київ–Черкаси, 2023. С. 164–165. URL: [https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/tezy\\_2023\\_1.pdf](https://uni-sport.edu.ua/sites/default/files/vseDocumenti/tezy_2023_1.pdf)

***Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації***

1. Komolafe D. O., Filippov M. M., Ilyin V. N., Klimenko A. V. Age features of O<sub>2</sub> mass transfer regimes in adolescents' body at rest. *Journal of Education, Health and Sport*. 2021. № 11 (12). Р. 344–349. DOI: 10.12775/JEHS.2021.11.12.028

## ДОДАТОК Б

**ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ ДИСЕРТАЦІЙНОГО  
ДОСЛІДЖЕННЯ**

| № | Назва конференції  | Форма участі | Місце та дата проведення             |
|---|--|--------------|--------------------------------------|
| 1 | XIII Міжнародна наукова конференція молодих вчених «Молодь та олімпійський рух»  | публікація   | м. Київ, 15-16 трав. 2020 р.         |
| 2 | Abstracts of I International Scientific and Practical Conference «Science and practice in the era of globalization»                  | публікація   | м. Роттердам, 29-30 січня. 2021 р.   |
| 3 | Proceedings of the XXXV International Scientific and Practical Conference «Modern methods of solving scientific problems of reality» | публікація   | м. Варна 05-08 вересень. 2023 р.     |
| 4 | I Міжнародна науково-практична конференція «Адаптаційні та психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту»                    | публікація   | м. Київ-Черкаси, 7-8 грудня. 2023 р. |

## ДОДАТОК В

**АКТ**  
**впровадження результатів наукових досліджень в освітній процес**  
**кафедри медико-біологічних дисциплін**  
**Національного університету фізичного виховання і спорту України**

м. Київ

« 9 » лютого 2023 р.

Ми, ті, що підписалися нижче: представник Національного університету фізичного виховання і спорту України, перший проректор з науково-педагогічної роботи, д.н.з фіз. вих. і спорту, проф. М.В. Дутчак і завідувач кафедри водних видів спорту Національного університету фізичного виховання і спорту України, д.н.фіз.вих., проф. А.Ю. Дяченко, склали цей акт про те, що Комолафе Дамілола Олувасеївна за результатами роботи, виконаної відповідно до Плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2016-2020 рр., тема «Особливості соматичних, вісцеральних та сенсорних систем у кваліфікованих спортсменів на різних етапах підготовки» (№ державної реєстрації 0116U001632) та теми Плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021-2025 рр., тема «Вплив екзогенних та ендогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (державний реєстраційний номер 012U108187), внесли такі рекомендації та пропозиції:

| <i>Назва пропозиції, форма впровадження і коротка характеристика</i>   | <i>Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання</i>   | <i>Ефект від впровадження</i>   |
|--|---|---|
| <p><i>Назва пропозиції:</i><br/>           "Особливості прояву гіпоксії навантаження у підлітків в залежності від рухової діяльності"</p> <p><i>Форма впровадження -</i><br/>           Методичні рекомендації для практичних занять з дисципліни «Адаптація функціональних систем спортсменів у легкій атлетиці» і "Фізіологія рухової активності".</p> <p><i>Переваги над аналогами:</i><br/>           Розроблені методичні рекомендації обґрунтовують особливості та відмінності прояву гіпоксії навантаження у підлітків на відміну від дорослих.</p> | <p><i>Наукова новизна:</i> Вперше встановлено характер та відмінності розвитку і компенсації гіпоксії навантаження у нетренованих підлітків від дорослих, а також були отримані нові дані стосовно особливостей розвитку гіпоксії навантаження у підлітків-дівчат з порушеною кисневою смістю крові при фізичних навантаженнях.</p> <p><i>Рекомендації:</i> рекомендується для використанні під час викладання дисципліни "Фізіологія рухової активності", "Спортивна медицина" тощо.</p> | <p>Матеріали досліджень було впроваджено при проведенні практичних занять зі студентами здобувачами вищої освіти ступеня бакалавра (3 курс) з дисципліни «Функціональне забезпечення спеціальної роботоздатності кваліфікованих спортсменів у водних видах спорту» впродовж 2022-2023 рр.</p> <p>Впровадження результатів досліджень сприяло розширенню кола знань студентів, підвищенню рівня кваліфікації, спеціальних знань та вмінь майбутніх магістрів фізичної культури і спорту.</p> |

**Автори розробки:**

Аспірант кафедри медико-біологічних дисциплін

**Представники НУФВСУ:**

Перший проректор з науково-педагогічної роботи

Представник установи, де здійснюється впровадження:

Завідувач кафедри водних видів спорту



Дамілола КОМОЛАФЕ

Мирослав ДУТЧАК

Андрій ДЯЧЕНКО

## ДОДАТОК Г

## АКТ

впровадження результатів наукових досліджень в освітній процес  
кафедри медико-біологічних дисциплін

Національного університету фізичного виховання і спорту України

м. Київ

«16» травня 2023 р.

Ми, ті, що підписалися нижче: представник Національного університету фізичного виховання і спорту України, перший проректор з науково-педагогічної роботи, д.н.з фіз. вих. і спорту, проф. М.В. Дутчак і завідувач кафедри медико-біологічних дисциплін Національного університету фізичного виховання і спорту України, д.м.н., проф. В.А. Пастухова, склали цей акт про те, що Комолафе Дамілола Олувасеївна за результатами роботи, виконаної відповідно до Плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2016-2020 рр., тема «Особливості соматичних, вісцеральних та сенсорних систем у кваліфікованих спортсменів на різних етапах підготовки» (№ державної реєстрації 0116U001632) та теми Плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021-2025 рр., тема «Вплив екзогенних та ендогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (державний реєстраційний номер 012U108187), внесли такі рекомендації та пропозиції:

| Назва пропозиції, форма впровадження і коротка характеристика   | Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання  | Ефект від впровадження  |
|---|---|---|
| <p><i>Назва пропозиції:</i><br/>“Особливості прояву гіпоксії навантаження у підлітків в залежності від рухової діяльності”</p> <p><i>Форма впровадження -</i><br/>Методичні рекомендації для практичних занять з дисципліни «Адаптація функціональних систем спортсменів у легкій атлетичі» і “Фізіологія рухової активності”.</p> <p><i>Переваги над аналогами:</i><br/>Розроблені методичні рекомендації обґрунтовують особливості та відмінності прояву гіпоксії навантаження у підлітків на відміну від дорослих.</p> | <p><i>Наукова новизна:</i> Вперше встановлено характер та відмінності розвитку і компенсації гіпоксії навантаження у нетренованих підлітків від дорослих, а також від юних спортсменів. Також були отримані нові дані стосовно особливостей розвитку гіпоксії навантаження у підлітків-дівчат з порушеною кисневою ємністю крові при фізичних навантаженнях.</p> <p><i>Рекомендації:</i> рекомендується для використання в освітньому процесі під час викладання дисципліни “Фізіологія рухової активності”, “Спортивна медицина” тощо.</p> | <p>Матеріали досліджень було впроваджено при проведенні практичних занять зі студентами здобувачами вищої освіти ступеня магістра (5 курс) з дисципліни «Адаптація функціональних систем спортсменів у легкій атлетичі» впродовж 2021-2022 рр. Впровадження результатів досліджень сприяло розширенню кола знань студентів, підвищенню рівня кваліфікації, спеціальних знань та вмінь майбутніх магістрів фізичної культури і спорту.</p> |

**Автори розробки:**

Аспірант кафедри медико-біологічних дисциплін

**Представники НУФВСУ:**

Перший проректор з науково-педагогічної роботи

Представник установи, де виконувалися впровадження:

Завідувач кафедри



*Комолафе*

Дамілола КОМОЛАФЕ

Мирослав ДУТЧАК

Вікторія ПАСТУХОВА

## ДОДАТОК Д

## АКТ

впровадження результатів наукових досліджень у науково-дослідну діяльність  
кафедри біомедицини Навчально-наукового центру "Інститут біології та медицини"  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка

м. Київ

«26» Січня 2023 р.

Ми, ті, що підписалися нижче: представник Національного університету фізичного виховання і спорту України, проректор з науково-педагогічної роботи, д.н.з фіз. вих. і спорту, проф. О.В. Борисова і представники навчально-наукового центру "Інститут біології та медицини" Київського національного університету імені Тараса Шевченка (члени комісії з оцінки впровадження (використання) наукових результатів у навчальний процес), директор ННЦ "Інститут біології та медицини", д.б.н., проф. Л. І. Остапченко і завідувач кафедри біомедицини д.б.н., проф. Т. М. Феласєва, склали цей акт про те, що Комолафе Дамілола Олувасєївна за результатами роботи, виконаної відповідно до Плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2016-2020 рр., тема «Особливості соматичних, вісцеральних та сенсорних систем у кваліфікованих спортсменів на різних етапах підготовки» (№ державної реєстрації 0116U001632) та теми Плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021-2025 рр., тема «Вплив екзогенних та ендогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (державний реєстраційний номер 012U108187), внесла такі рекомендації та пропозиції:

| Назва пропозиції, форма впровадження і коротка характеристика  | Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання   | Ефект від впровадження  |
|--|--|---|
| <p><b>Назва пропозиції:</b><br/>"Особливості прояву гіпоксії навантаження у підлітків в залежності від рухової діяльності"</p> <p><b>Форма впровадження:</b><br/>Методологія оцінки функціональних станів організму, його фізіологічних можливостей в період розвитку на основі аналізу режимів масоперенесення кисню в організмі.</p> <p><b>Переваги над аналогами:</b><br/>Розроблена методологія обґрунтовує особливості та відмінності прояву гіпоксії навантаження у підлітків на відміну від дорослих.</p> | <p><b>Наукова новизна:</b><br/>Вперше проаналізовано можливості в процесі вікового розвитку поетапного кількісного і якісного переміщення кисню в організмі, а також умов в яких відбувається цей процес. Оцінка генезу та компенсації гіпоксії навантаження.</p> <p><b>Рекомендації:</b><br/>Рекомендується для використання в дослідницькому процесі під час оцінки функціональних станів організму, його фізіологічних можливостей в період розвитку на основі аналізу режимів масоперенесення кисню в організмі.</p> | Удосконалена методика оцінки функціональних станів організму, його фізіологічних можливостей в період розвитку на основі аналізу режимів масоперенесення кисню в організмі. |

**Автор розробки:**

Аспірант кафедри медико-біологічних дисциплін

**Представник НУФВСУ:**

Проректор з науково-педагогічної роботи

**Голова комісії:**

директор ННЦ "Інститут біології та медицини"

**Член комісії:**

Завідувач кафедри біомедицини



*(Handwritten signatures)*

Дамілола КОМОЛАФЕ

Ольга БОРИСОВА

Людмила ОСТАПЧЕНКО

Тетяна ФАЛАСЄВА



## ДОДАТОК Е

**АКТ**  
**впровадження результатів наукових досліджень в освітній процес**  
**кафедри біомедицини Навчально-наукового центру "Інститут біології та медицини"**  
**Київського національного університету імені Тараса Шевченка**

м. Київ

« 17 » лютого 2023 р.

Ми, ті, що підписалися нижче: представник Національного університету фізичного виховання і спорту України, проректор з науково-педагогічної роботи, д.н.з фіз. вих. і спорту, проф. О.В. Борисова і представники навчально-наукового центру "Інститут біології та медицини" Київського національного університету імені Тараса Шевченка (члени комісії з оцінки впровадження (використання) наукових результатів у навчальний процес), директор ННЦ "Інститут біології та медицини", д.б.н., проф. Л. І. Остапченко і завідувач кафедри біомедицини д.б.н., проф. Т. М. Феласєва, склали цей акт про те, що Комолафе Дамілола Олувасєйвна за результатами роботи, виконаної відповідно до Плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2016-2020 рр., тема «Особливості соматичних, вісцеральних та сенсорних систем у кваліфікованих спортсменів на різних етапах підготовки» (№ державної реєстрації 0116U001632) та теми Плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021-2025 рр., тема «Вплив екзогенних та ендогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (державний реєстраційний номер 012U108187), внесли такі рекомендації та пропозиції:

| Назва пропозиції, форма впровадження і коротка характеристика  | Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання   | Ефект від впровадження   |
|--|--|--|
| <p><i>Назва пропозиції:</i><br/>           "Особливості прояву гіпоксії навантаження у підлітків в залежності від рухової діяльності"</p> <p><i>Форма впровадження -</i><br/>           методичні рекомендації для практичних занять з дисципліни «Адаптація функціональних систем спортсменів у легкій атлетичі» і "Фізіологія рухової активності".</p> <p><i>Переваги над аналогами:</i><br/>           розроблені методичні рекомендації обґрунтовують особливості та відмінності прояву гіпоксії навантаження у підлітків на відміну від дорослих.</p> | <p><i>Наукова новизна:</i> вперше встановлено характер та відмінності розвитку і компенсації гіпоксії навантаження у нетренованих підлітків від дорослих, а також від юних спортсменів. Також були отримані нові дані стосовно особливостей розвитку гіпоксії навантаження у підлітків-дівчат з порушеною кисневою смістю крові при фізичних навантаженнях.</p> <p><i>Рекомендації:</i> рекомендується для використання в освітньому процесі під час викладання дисципліни "Фізіологія рухової активності", "Спортивна медицина" тощо.</p> | <p>Матеріали досліджень було впроваджено в роботу кафедри біомедицини при проведенні практичних занять зі студентами здобувачами вищої освіти ступеня бакалавра (2 курс) з дисципліни «Фізіологія людини» впродовж 2022-2023 рр.</p> <p>Впровадження результатів досліджень сприяло розширенню кола знань студентів, підвищенню рівня кваліфікації, спеціальних знань та вмінь майбутніх магістрів фізичної культури і спорту.</p> |

**Автор розробки:**

Аспірант кафедри медико-біологічних дисциплін

**Представник НУФВСУ:**

Проректор з науково-педагогічної роботи

**Голова комісії:**

директор ННЦ "Інститут біології та медицини"

**Член комісії:**

Завідувач кафедри біомедицини



*Handwritten signature of Damilola Komolafe*

Дамілола КОМОЛАФЕ

Ольга БОРИСОВА

Людмила ОСТАПЧЕНКО

Тетяна ФАЛАСЄВА