

Національний університет фізичного виховання і спорту України
Міністерство молоді та спорту України

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ДЯЧЕНКО ОЛЬГА АНДРІЇВНА

УДК: 796.015.6:612(043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ
МОНІТОРИНГ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ТА РЕЗЕРВНИХ
МОЖЛИВОСТЕЙ ОРГАНІЗМУ СПОРТСМЕНІВ

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

_____ О. А. Дяченко

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

Київ – 2026

АНОТАЦІЯ

Дяченко О. А. Моніторинг функціонального стану та резервних можливостей організму спортсменів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеню доктора філософії за спеціальністю 091 Біологія. – Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, 2026.

Аналіз і узагальнення сучасних науково–методичних джерел свідчать про складність та багатofакторність фізіологічного забезпечення м'язової роботи, а також відсутність єдиної комплексної методології для діагностики стану функціональних систем, які забезпечують високий рівень працездатності спортсменів.

В умовах сучасного розвитку спорту, можливості підвищення результатів за рахунок подальшого збільшення обсягу та інтенсивності тренувальних навантажень є фактично вичерпаними, що зумовлює зростання значущості спортивної орієнтації та індивідуалізації підготовки спортсменів відповідно до їхніх фізіологічних особливостей. Науково–методичною основою для реалізації такого підходу можуть слугувати положення та результати, представлені в даній дисертаційній роботі.

Методологія дослідження передбачала інтегральний підхід і включала збір та аналіз показників зовнішнього дихання, гемодинаміки, газообміну, поетапного масопереносу кисню, біохімічних показників під час модуляції навантаження різної тривалості та інтенсивності.

Наукова новизна моніторингу та переваги його використання у практиці функціонального тестування та наукових дослідженнях, полягають у:

1. комплексному детальному аналізі фізіологічних і функціональних параметрів, які забезпечують аеробне, анаеробне енергозабезпечення, підтримку гомеостазу, та сформовані у блоки (наприклад: Газообмін, Кисневозв'язувальні властивості крові, Об'ємна швидкість масопереносу кисню тощо), за різної інтенсивності навантаження;

2. можливості адаптації протоколів модуляції навантаження та методів збору фізіологічних даних під завдання функціонального тестування;
3. можливості провести групову та індивідуальну аналітику;
4. використанні квартильної статистики, яка дозволяє оцінити медіану та варіабельність даних, виділити характерні тенденції динаміки показників;
5. формалізації даних із застосуванням авторського методу квартильного стандартизованого оцінювання (QSGM), що полегшує оперування великими масивами фізіологічних даних та сприяє простішому розумінню функціонального значення параметрів спеціалістами суміжних галузей;
6. формуванні індивідуальних типологічних характеристик, які відображають функціональні параметри кардіо–респіраторної системи, характер розвитку та компенсації гіпоксії навантаження та кислотно–лужний профіль.

Отримані результати узгоджуються з даними сучасної наукової літератури та підтверджують морфофункціональні зміни, що виникають у процесі адаптації до інтенсивних фізичних навантажень, з боку: систем, що забезпечують транспорт кисню; здатності м'язів до його утилізації; анаеробних гліколітичних можливостей; здатності до регуляції кислотно–лужного гомеостазу крові; таких функціональних характеристик, як економічність, потужність, ємність, та реактивність.

У дослідженні було обстежено 11 спортсменів високої спортивної кваліфікації, які спеціалізуються в академічному веслуванні. Середній вік учасників становив 19 років, при індивідуальних значеннях у діапазоні від 16 до 23 років. Дослідження проводилися в підготовчому періоді тренувального процесу в стандартних лабораторних умовах. Усі учасники надали письмову інформовану згоду на участь у дослідженні, яке було організовано з дотриманням етичних норм і принципів Гельсінської декларації.

Було показано, що об'єктивна оцінка функціональних можливостей організму спортсменів потребує комплексного підходу, заснованого на інтегрованому аналізі кардіореспіраторної системи, газотранспортних властивостей крові, кислотно–лужного стану та енергетичних характеристик м'язової діяльності, оскільки розгляд окремих фізіологічних параметрів не дозволяє адекватно відобразити цілісні адаптаційні реакції організму. Сформована методологія комплексного фізіологічного моніторингу дає змогу кількісно та якісно оцінювати режими масопереносу респіраторних газів і механізми енергозабезпечення при навантаженнях різної тривалості та інтенсивності, виявляти індивідуальні типи адаптації, схильність до певного типу м'язової роботи, механізми формування і компенсації втоми та гіпоксії навантаження. Запропонований метод квартильного стандартизованого оцінювання (QSGM) забезпечує формалізацію різнорідних фізіологічних показників, дозволяє формувати модельні нормативи та здійснювати порівняльний і динамічний аналіз резервних можливостей спортсменів. Розробка кислотно–лужного профілю та типологічних характеристик адаптаційних реакцій розширює можливості індивідуалізованого контролю функціонального стану та створює підґрунтя для подальшого вдосконалення системи комплексного моніторингу фізіологічного забезпечення спортивної діяльності.

Подальше обґрунтування проведеного дослідження базується на сучасних уявленнях про обмеженість традиційних підходів до підвищення спортивної результативності, які передбачають переважно збільшення обсягу та інтенсивності тренувальних навантажень. У сучасних умовах такий підхід вичерпує свій потенціал, що зумовлює необхідність пошуку нових шляхів оптимізації підготовки спортсменів, зокрема через індивідуалізацію тренувального процесу на основі глибокого аналізу фізіологічних характеристик організму.

Важливим аспектом є те, що сучасна спортивна наука накопичила значний обсяг даних щодо окремих компонентів функціонального забезпечення м'язової діяльності, проте їх застосування у практиці часто має фрагментарний характер. Окремий аналіз показників вентиляції,

гемодинаміки або метаболізму не дозволяє сформувати цілісне уявлення про функціональний стан організму спортсмена. У зв'язку з цим виникає необхідність інтеграції різнорідних фізіологічних показників у єдину систему оцінювання, що і реалізовано у представленому дослідженні.

Особливу увагу приділено проблемі узгодженості процесів масопереносу респіраторних газів та енергетичних характеристик метаболізму. Відомо, що ефективність виконання фізичних навантажень значною мірою визначається здатністю організму забезпечувати адекватний транспорт кисню до працюючих м'язів і його утилізацію на тканинному рівні. При цьому важливу роль відіграють не лише абсолютні значення показників, але й характер їх взаємодії та динаміки в умовах навантаження.

У роботі враховано, що адаптація до фізичних навантажень має індивідуальний характер і залежить від багатьох факторів, зокрема генетичних особливостей, рівня тренуваності, спеціалізації спортсмена та умов тренувального процесу. Це обумовлює необхідність визначення індивідуальних адаптаційних профілів, які відображають специфіку функціонування основних фізіологічних систем і можуть бути використані для прогнозування спортивної результативності.

Окремо підкреслено значення кислотно–лужного стану крові як інтегрального показника метаболічних процесів при фізичних навантаженнях. Зміни кислотно–лужного балансу відображають ступінь залучення анаеробних механізмів енергозабезпечення та ефективність компенсаційних реакцій організму. Аналіз цих показників у поєднанні з характеристиками масопереносу кисню дозволяє більш точно оцінити рівень функціональних можливостей спортсмена.

Важливим напрямом дослідження є також виявлення індивідуальної схильності спортсменів до певних типів м'язової діяльності. Це має суттєве значення для оптимізації тренувального процесу, оскільки дозволяє підбирати адекватні навантаження, що відповідають функціональним можливостям організму та сприяють максимальному розвитку його резервів.

Розроблена у дисертації методологія комплексного моніторингу функціонального стану організму спортсменів передбачає використання

стандартизованих підходів до збору, обробки та інтерпретації фізіологічних даних. Це забезпечує можливість порівняння результатів, отриманих у різних умовах, та підвищує об'єктивність оцінювання.

Крім того, застосування формалізованих методів аналізу, зокрема квартильного стандартизованого оцінювання, дозволяє систематизувати великі масиви даних і виділяти ключові закономірності функціональних змін. Це значно спрощує інтерпретацію результатів та робить їх доступними для використання у практиці спортивної підготовки.

Узагальнення отриманих результатів дозволяє стверджувати, що комплексний підхід до моніторингу функціонального стану організму спортсменів є ефективним інструментом для оцінки їхніх резервних можливостей, визначення індивідуальних особливостей адаптації та оптимізації тренувального процесу. Його впровадження сприяє підвищенню ефективності підготовки спортсменів та зниженню ризику розвитку перевтоми і функціональних порушень.

Таким чином, представлене дослідження розширює наукові уявлення про механізми фізіологічного забезпечення м'язової діяльності та обґрунтовує доцільність використання інтегративних підходів у системі функціонального контролю в спорті вищих досягнень.

Ключові слова: фізична працездатність, максимальне споживання кисню, м'язова робота, кардіо–респіраторна система, масоперенесення кисню, кисневозв'язувальні властивості крові, анаеробний гліколітичний механізм енергозабезпечення, кислотно–лужний стан, гіпоксія навантаження, функціональна діагностика.

SUMMARY

Diachenko O. A. Monitoring of athletes' functional state and reserve capacities. – Qualification scientific work, manuscript.

Dissertation for the degree of Philosophy Doctor in specialty 091 Biology. – National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, 2026.

The analysis and synthesis of contemporary scientific and methodological sources indicate the complexity and multifactorial nature of the physiological support of muscular activity, as well as the absence of a unified comprehensive methodology for diagnosing the state of functional systems that ensure a high level of athletes' performance.

Under current conditions of sports development, the potential for improving athletic performance through further increases in training volume and intensity is limited, which determines the growing importance of sport orientation and the individualization of athletes' preparation in accordance with their physiological characteristics. The scientific and methodological basis for the implementation of such an approach may be provided by the principles and results presented in this dissertation.

The research methodology was based on an integrated approach and included the collection and analysis of indicators of external respiration, hemodynamics, gas exchange, stepwise oxygen mass transfer, and biochemical parameters during the modulation of physical loads of different duration and intensity.

Scientific novelty of the obtained results. In the course of the dissertation research, results characterized by scientific novelty were obtained, in particular:

- a methodology of a comprehensive approach to the assessment of physiological parameters and functional characteristics of elite athletes was developed and tested;
- an innovative approach to the formalized assessment of physiological parameters was proposed;
- typological characteristics of the responses of the cardiorespiratory system, acid–base status, and the mechanisms of development and compensation of exercise–induced hypoxia were developed.

The obtained results are consistent with data from contemporary scientific literature and confirm morphofunctional changes that occur in the process of adaptation to intensive physical loads, involving oxygen transport systems, the capacity of muscle tissue for oxygen utilization, anaerobic glycolytic potential, and

the ability to regulate acid–base balance, as well as such characteristics as efficiency, power, capacity, and reactivity.

The study examined 11 highly qualified athletes specializing in academic rowing. The mean age of the participants was 19 years, with individual values ranging from 16 to 23 years. The studies were conducted during the preparatory period of the training process under standard laboratory conditions. All participants provided written informed consent to participate in the study, which was organized in accordance with ethical standards and the principles of the Declaration of Helsinki.

It was shown that an objective assessment of athletes' functional capacities requires a comprehensive approach based on an integrated analysis of the cardiorespiratory system, blood gas transport properties, acid–base status, and energy characteristics of muscular activity, since the consideration of individual physiological parameters does not allow for an adequate representation of holistic adaptive responses of the organism. The developed methodology of comprehensive physiological monitoring makes it possible to quantitatively and qualitatively assess the modes of respiratory gas mass transfer and mechanisms of energy supply during physical loads of varying duration and intensity, to identify individual types of adaptation, predisposition to specific types of muscular work, and mechanisms of formation and compensation of fatigue and exercise–induced hypoxia. The proposed quartile standardized grading method (QSGM) provides formalization of heterogeneous physiological indicators, enables the development of model reference values, and supports comparative and dynamic analyses of athletes' reserve capacities. The development of an acid–base profile and typological characteristics of adaptive responses expands the possibilities for individualized control of functional state and creates a basis for further improvement of comprehensive monitoring systems for the physiological support of athletic activity.

Further substantiation of the conducted research is based on modern views regarding the limitations of traditional approaches to improving sports performance, which primarily involve increasing the volume and intensity of training loads. Under current conditions, such an approach is reaching its limits, which necessitates the

search for new ways to optimize athlete training, in particular through the individualization of the training process based on an in-depth analysis of physiological characteristics of the organism.

An important aspect is that modern sports science has accumulated a significant amount of data on individual components of the functional support of muscular activity; however, their application in practice is often fragmented. The separate analysis of ventilation, hemodynamics, or metabolism indicators does not allow for the formation of a comprehensive understanding of the functional state of an athlete's organism. In this regard, there is a need to integrate heterogeneous physiological indicators into a unified evaluation system, which has been implemented in the present study.

Special attention is paid to the problem of coordination between the processes of respiratory gas transport and the energy characteristics of metabolism. It is well known that the efficiency of physical performance is largely determined by the organism's ability to ensure adequate oxygen transport to working muscles and its utilization at the tissue level. At the same time, not only the absolute values of indicators are important, but also the nature of their interaction and dynamics under exercise conditions.

The study takes into account that adaptation to physical loads is individual in nature and depends on many factors, including genetic characteristics, training level, athlete specialization, and conditions of the training process. This determines the need to identify individual adaptive profiles that reflect the specific features of the functioning of the main physiological systems and can be used to predict sports performance.

Particular emphasis is placed on the acid-base balance of the blood as an integral indicator of metabolic processes during physical activity. Changes in acid-base balance reflect the degree of involvement of anaerobic energy supply mechanisms and the effectiveness of compensatory responses of the organism. The analysis of these indicators in combination with oxygen transport characteristics allows for a more accurate assessment of an athlete's functional capabilities.

An important direction of the study is also the identification of individual predisposition of athletes to certain types of muscular activity. This is of significant

importance for optimizing the training process, as it allows for the selection of adequate loads that correspond to the functional capabilities of the organism and contribute to the maximum development of its reserves.

The methodology of comprehensive monitoring of the functional state of athletes' organisms developed in the dissertation involves the use of standardized approaches to the collection, processing, and interpretation of physiological data. This ensures the possibility of comparing results obtained under different conditions and increases the objectivity of assessment.

In addition, the application of formalized methods of analysis, in particular quartile-based standardized evaluation, makes it possible to systematize large data sets and identify key patterns of functional changes. This significantly simplifies the interpretation of results and makes them accessible for practical use in sports training.

The generalization of the obtained results allows us to conclude that a comprehensive approach to monitoring the functional state of athletes' organisms is an effective tool for assessing their reserve capacities, identifying individual characteristics of adaptation, and optimizing the training process. Its implementation contributes to improving the efficiency of athlete preparation and reducing the risk of overtraining and functional disorders.

Thus, the presented study expands current scientific understanding of the physiological mechanisms underlying muscular activity and substantiates the feasibility of using integrative approaches in the system of functional control in elite sports.

Keywords: physical performance, maximal oxygen uptake, muscular activity, cardiorespiratory system, oxygen mass transfer, blood oxygen transport function, anaerobic glycolytic energy supply mechanism, acid–base status, exercise–induced hypoxia, functional diagnostics.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Дяченко О. А., Філіппов М. М., Ільїн В. М., Го Ж. Моніторинг функціонального забезпечення спеціальної працездатності кваліфікованих спортсменів. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*. 2023. № 1. С. 35–45. DOI: <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-35-45>

Фахове видання України. Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, обробці, аналізі результатів і формулюванні висновків. Внесок Філіппова М. М. полягав в організації та проведенні досліджень, узагальненні висновків. Внесок Ільїна В. М. — в обробці та інтерпретації результатів дослідження. Внесок Го Ж. — в організації та проведенні досліджень.

2. Дяченко О. А., Хмельницька Ю. К., Філіппов М. М. Зміни функціонального стану кардіореспіраторної системи і працездатності лижниць-гонщиць на різних етапах підготовчого періоду. *Acta Biologica Ukrainica*. 2023. № 1. С. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.26661/2410-0943-2023-1-02>

Фахове видання України. Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів. Внесок Хмельницької Ю. К. полягав в організації та проведенні досліджень, узагальненні висновків. Внесок Філіппова М. М. — в обробці та інтерпретації результатів дослідження.

3. Diachenko O., Komolafe D., Filippov M., Ilyin V., Guo Z. Characteristics of functional support for specialized physical performance in rowers. *Bulletin of Problems of Biology and Medicine*. 2023. Vol. 4(171). P. 99–107. DOI: <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2023-4-171-99-107>

Фахове видання України. Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів. Внесок Комолафе Д. та Го Женхао полягав в організації та проведенні досліджень. Внесок Філіппова М.

— в обробці та інтерпретації результатів дослідження. Внесок Ільїна В. М.
 — в узагальненні висновків.

4. Filippov M. M., Diachenko A. Yu., Diachenko O. A., Samsiy R. M., Komolafe D. O., Ilyin V. M. Methodology of a complex approach to determining the functional capabilities of the athletes' body by analyzing the modes of gas transfer regimes and energy characteristics. *Bulletin of Problems of Biology and Medicine*. 2024. Vol. 2(173). P. 323–338. DOI: <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-2-173-323-338> Фахове видання України. Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів. Внесок Філіппова М. М. — в обробці та інтерпретації результатів дослідження. Внесок Дяченка А. Ю. полягав в організації та проведенні досліджень. Внесок Самсія Р. М. — в обробці та інтерпретації отриманих даних. Внесок Комолафе Д. О. — в організації та проведенні дослідження. Внесок Ільїна В. М. — в узагальненні висновків.

5. Філіппов М. М., Дяченко О. А. Характеристика змін кислотно-лужного стану крові при м'язовій діяльності та їх вплив на динаміку респіраторних газів. *Природничий альманах (Біологічні науки)*. 2025. № 38. С. 85–95. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2524-0838/2025-38-6> Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів. Внесок Філіппова М. М. — в обробці та інтерпретації результатів дослідження, узагальненні висновків.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Дяченко О. А., Філіппов М. М. Теоретичний аналіз можливого впливу змін інтенсивності тканинного дихання на прояви гіпоксії навантаження. *Адаптаційні та психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту* : матеріали І Міжнар. наук.-практич. конф., 7-8 груд. 2023 р., Київ – Черкаси. Київ. 2023. С. 37–38. URL: <https://reposit.uni-sport.edu.ua/server/api/core/bitstreams/8206b367-2800-4706-a9e2-6ca17e9ab998/content> Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів.

7. Дяченко О. А., Го Женхао. Фізіологічний моніторинг «стимул – реакція» спеціальної працездатності кваліфікованих спортсменів. *Молодь та олімпійський рух* : зб. тез доп. XVI Міжнар. конф. молодих вчених. 29 черв. 2023 р. Київ, Київ, 2023. С. 112–113. URL: <https://reposit.unisport.edu.ua/server/api/core/bitstreams/f26adc98-470b-4db1-99b8-0fc5048296fd/content> *Особистий внесок здобувача полягав в обробці та інтерпретації результатів дослідження, узагальненні висновків.*
8. Дяченко О. А., Філіппов М. М. Динаміка кислотно-лужного стану крові при м'язовій діяльності та його вплив на масоперенесення респіраторних газів. *Здоров'я нації і вдосконалення фізкультурно-спортивної освіти* : матеріали V Міжнар. наук.-практич. конф. 16–17 квіт. 2025 р. Харків, Харків : НТУ «ХП». 2025. С. 529–533. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/903865> *Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів.*
9. Дяченко О. А. Моделювання гіпотетичних змін гемодинамічного еквіваленту під час фізичних навантажень. *Global Trends in Science and Education* : Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference. 28-30 July 2025, Kyiv. Kyiv, 2025. P. 25–28. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2025/07/GLOBAL-TRENDS-IN-SCIENCE-AND-EDUCATION-28-30.07.25.pdf>
10. Дяченко О. А., Філіппов М. М. Особливості функціональних проявів кардіореспіраторної системи у формуванні об'ємної швидкості масопереносу кисню при м'язовій діяльності. *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації* : матеріали Міжнар. наук.-практич. інтернет-конф. 30 січ. 2026 р., Переяслав, Переяслав, 2026. Вип. 125. С. 5–9. URL: <https://0a30397da1.clvaw-cdnwnd.com/12ac69b5c0bec343f11779551473023e/200000621-0a63b0a63e/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B>

[A%20125–7.pdf](#) *Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів.*

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

11. Філіппов М. М., Дяченко А. Ю., Дяченко О. А., Самсій Р. М., Комолафе Д. О., Ільїн В. М., Хмельницька Ю. К. Методологія визначення функціональних можливостей та енергетичних характеристик організму спортсменів на основі аналізу режимів масопереносу респіраторних газів: методичні вказівки для аспірантів. Київ: НУФВСУ, 2024. 42 с. URL: <https://reposit.uni-sport.edu.ua/handle/787878787/5549> *Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	19
ВСТУП	23
РОЗДІЛ 1 АКТУАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЇХ ОЦІНКУ	30
1.1 Характеристики адаптаційних змін, що сформувались у відповідь на м'язове навантаження різної тривалості та інтенсивності.....	30
1.1.1 Реактивність та резистентність як основа формування адаптаційних змін у відповідь на фізичні навантаження. Функціональні резерви організму ..	30
1.1.2 Фізіологічні зміни кардіореспіраторної системи та кисневозв'язувальних властивостей крові, що супроводжують термінову адаптацію до інтенсивного фізичного навантаження	31
1.1.3 Механізми енергозабезпечення та методики їх аналізу.....	33
1.1.4 Зміни кислотно–лужного стану організму.....	36
1.2 Сучасні підходи до оцінки систем транспорту кисню та енергозабезпечення при м'язовому навантаженні різної тривалості та інтенсивності	39
1.2.1 Кардіореспіраторна система та газообмін.....	39
1.2.2 Кисневозв'язувальні властивості крові.....	42
1.2.3 Режими масопереносу респіраторних газів.....	43
1.2.4 Аналіз кислотно–лужного стану крові	49
1.2.5 Характер розвитку та компенсації гіпоксії навантаження.....	51
1.2.6 Функціональні характеристики кардіореспіраторної системи.....	55
1.2.7 Типологічні особливості спортсменів та спрямованість енергозабезпечення м'язової роботи.....	58
1.3 Моніторинг як інструмент комплексного наукового дослідження	62
Висновки до розділу 1	64
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	65

2.1 Методи дослідження	65
2.1.1 Фізіологічні методи	65
2.1.2 Ергометричні методи	75
2.1.3 Методи математичної статистики	77
2.1.4 Формалізована оцінка фізіологічних і ергометричних показників працездатності спортсменів	78
2.2 Контингент і організація дослідження.....	80
РОЗДІЛ 3 МОНІТОРИНГ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СПОРТСМЕНІВ, ЩО СПЕЦІАЛІЗУЮТЬСЯ У АКАДЕМІЧНОМУ ВЕСЛУВАННІ	83
3.1 Моніторинг фізіологічних параметрів	86
3.1.1 Газообмін. Споживання кисню та виділення вуглекислого газу	86
3.1.2 Система вентиляції та дифузії, серцево–судинна система	89
3.1.3 Кисневозв’язувальні властивості крові.....	92
3.2 Режими масопереносу кисню.....	95
3.2.1 Каскади об’ємної швидкості масопереносу кисню	95
3.2.2 Каскади парціального тиску кисню	97
3.2.3 Ефективність режимів масопереносу кисню.....	98
3.2.4 Каскади інтенсивності переміщення кисню в організмі	100
3.2.5 Киснева вартість робочої потужності.....	101
3.3 Функціональний моніторинг систем енергозабезпечення.....	103
3.3.1 Показники економічності та ефективності кардіореспіраторної системи	103
3.3.2 Потужність та ємність кардіореспіраторної системи	106
3.3.3 Реактивність кардіореспіраторної системи	107
3.3.4 Кислотно–лужний стан крові.....	109
3.4 Характеристики функціонального забезпечення різних режимів роботи.....	110
3.4.1 Короткочасне інтенсивне навантаження (Test 30).....	111
3.4.2 Період відновлення після короткочасного інтенсивного навантаження (Test 30Rec)	112

3.4.3 Стабільний стан $65\% \dot{V}O_{2max}$	113
3.4.4 Стабільний стан $85\% \dot{V}O_{2max}$	114
3.4.5 Стабільний стан $\dot{V}O_{2max}$	115
3.4.6 Навантаження «критичної потужності» ($CP \dot{V}O_2$).....	116
3.5 Модельні характеристики фізіологічних та функціональних характеристик спортсменів	117
Висновки до розділу 3	119
РОЗДІЛ 4 ТИПОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОРТСМЕНІВ.....	122
4.1 Фізіологічні показники кардіореспіраторної системи та кисневозв'язувальних властивостей крові	123
4.1.1 Газообмін	123
4.1.2 Система вентиляції, дифузія, та серцево–судинна система та тип адаптації до інтенсивного м'язового навантаження	124
4.1.3 Тип адаптації кардіореспіраторної системи до інтенсивного м'язового навантаження	128
4.1.4 Тип реактивності кардіореспіраторної системи	129
4.1.5 Кисневозв'язувальні властивості крові.....	130
4.2 Режими масопереносу кисню.....	132
4.2.1 Об'ємні швидкості масопереносу кисню	132
4.2.2 Парціальні тиски кисню в організмі	134
4.2.3 Ефективність режимів масопереносу кисню.....	135
4.2.4 Інтенсивність масопереносу кисню в організмі.....	138
4.2.5 Киснева вартість одиниці механічної роботи	139
4.2.6 Характер розвитку та компенсації гіпоксії навантаження.....	141
4.3 Функціональні характеристики кардіореспіраторної системи.....	144
4.3.1 Економічність та ефективність кардіореспіраторної системи	144
4.3.2 Потужність та ємність кардіореспіраторної системи.....	146
4.3.3 Кислотно лужний стан крові та кислотно–лужний профіль	147
4.3.4 Схильність до певного типу м'язової роботи	150

4.4 Інтегральні оцінки спортсменів А, В та С	150
Висновки до розділу 4	158
РОЗДІЛ 5 АНАЛІЗ І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ..	161
5.1 Загальна характеристика систем транспорту та утилізації кисню при м'язовій діяльності різної інтенсивності	161
5.2 Особливості функціонального стану організму при короткочасному максимальному навантаженні (Test 30) та відновленні після нього.....	162
5.3 Особливості функціонального стану організму у степ-тесті при різних рівнях навантаження	164
5.4 Функціональні можливості організму в режимі критичної потужності.....	170
5.5 Узагальнення результатів та їх науково-практичне значення.....	172
ВИСНОВКИ.....	175
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	178
ДОДАТКИ	200

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

m – маса тіла

W_{ex} – потужність роботи під час модуляції навантаження

P_B – тиск барометричний, мм рт.ст.

O_2 – кисень

CO_2 – вуглекислий газ

КРС – кардіореспіраторна система

ЦНС – центральна нервова система

ГН – гіпоксія навантаження

КЛС – кислоотно–лужний стан

КЛП – кислоотно лужний профіль

BE – надлишок або дефіцит буферів (base excess)

HCO_3^- – бікарбонат (буферні можливості крові)

ODC – крива дисоціації оксигемоглобіну (oxyhemoglobin dissociation curve)

ЕРОС – надлишкове споживання кисню після завершення фізичного навантаження (excess post–exercise oxygen consumption)

LT – лактатний поріг (lactate threshold)

VT(1, 2) – вентиляційний поріг (ventilatory threshold)

HR – частота серцевих скорочень (heart rate), скор./хв

$\dot{Q}$ – хвилинний об'єм крові, л/хв

$\dot{Q}$ – систолічний об'єм серця, мл

S_p – систолічний артеріальний тиск, мм рт.ст.

D_p – діастолічний артеріальний тиск, мм рт.ст.

RER – відношення виділеного вуглекислого газу до спожитого кисню, у.о

$\dot{V}_E$ – легенева вентиляція, л/хв

$\dot{V}_A$ – альвеолярна вентиляція, л/хв

f – кількість дихальних циклів, д.ц./хв

- $\dot{V}O_2$ – споживання кисню, л/хв, мл/кг/хв
 $\dot{V}O_2$ – об'єм спожитого кисню, л
 $\dot{V}CO_2$ – виділення вуглекислого газу, л/хв, мл/кг/хв
 VCO_2 – об'єм виділеного вуглекислого газу, л
 V_t – дихальний об'єм, л
 V_D – об'єм фізіологічного мертвого простору, л
 La – лактат крові, ммоль/л
 Hb – концентрація гемоглобіну, г.%
 I – повітря, що вдихається
 E – повітря, що видихається
 A – альвеолярне повітря
 a – артеріальна кров
 $\bar{v}$ – змішана венозна кров
 F_{IO_2} – фракція кисню у вдихуваному повітрі, об.%
 F_{EO_2} – фракція кисню у видихуваному повітрі, об.%
 $C_{max}O_2$ – киснева ємність крові, 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.%
 SO_2 – насичення крові киснем, об.%
 PO_2 – парціальний тиск кисню, мм рт.ст.
 PCO_2 – парціальний тиск вуглекислого газу, мм рт.ст.
 qO_2 – об'ємна швидкість масопереносу кисню, л/хв
 q_tO_2 – об'ємна швидкість споживання кисню, л/хв
 $KUL O_2$ – коефіцієнт легеневої утилізації (частка кисню, вилучена з вдихуваного повітря), %
 O_{2ERL} (lung extraction ratio) – ефективність переходу кисню з альвеол у кров, %
 D_{LO_2} – дифузійна спроможність легень для кисню, мл/мм рт.ст.

O_2ERt (tissue extraction ratio) – частка артеріального кисню, спожита тканинами, %

$Ef\ qO_2$ – ефективність масопереносу кисню (частка спожитого O_2 від транспортованого), %

WqO_2 – об'ємна швидкість транспорту кисню на одиницю потужності механічної роботи, мл/W

$Int\ qO_2$ – питома кількість переміщеного кисню на одиницю потужності механічної роботи, мл/W

HE – гемодинамічний еквівалент (відношення $\dot{V}O_2$ до $\dot{Q}$), л/л

O_2HR – споживання кисню за серцеве скорочення, мл/скор./хв

O_2RC – споживання кисню за дихальний цикл, мл/д.ц.

$W_{ex}\ O_2$ – споживання кисню на ватт потужності механічної роботи, мл/W

EqO_2 – вентиляційний еквівалент за киснем (відношення $\dot{V}O_2$ до $\dot{V}_E$), л/л

$EqCO_2$ – вентиляційний еквівалент за вуглекислим газом (відношення $\dot{V}O_2$ до $\dot{V}_E$), л/л

EqP_{ACO_2} – вентиляційний еквівалент за парціальним тиском вуглекислого газу, мм.рт.ст/л

$\tau_{O_2O_2}$ (tau) – швидкість реактивної відповіді кардіореспіраторної системи на зростаюче навантаження, хв

TD_{O_2} (Time Delay O_2) – час затримки реактивної відповіді кардіореспіраторної системи від початку навантаження, хв

$T^{65\%}_{O_2}$ – загальний час від початку роботи до досягнення стабільного стану на рівні 65% від максимального споживання кисню, хв

$T^{max}_{O_2}$ – загальний час початку роботи до досягнення стабільного стану ну піку споживання кисню, хв

$\Delta\dot{V}O_2$ (дельта $\dot{V}O_2$) – амплітуда споживання кисню в період від початку його активного зростання до досягнення 65% інтенсивності від максимального споживання кисню, л

min – мінімальне значення

max – максимальне значення

ME – медіана

Q1 (перший кuartиль) – значення 25% розподілу даних

Q2 (другий кuartиль) – значення 50% розподілу даних ($Q2 = ME$)

Q3 (третій кuartиль) – значення 75% розподілу даних

IQR – міжкuartильний інтервал ($Q1 - Q3$)

Test 30 – 30-секундний тест при роботі максимальної інтенсивності

Test 30Rec – період відновлення після 30-секундного тесту

step-тест – тест із контрольованим ступінчастим навантаженням «до відмови»

$65\% \dot{V}O_{2max}$ – стан динамічної рівноваги систем функціонального забезпечення при інтенсивності роботи 65% від максимального споживання кисню у step-тесті

$85\% \dot{V}O_{2max}$ – стан динамічної рівноваги систем функціонального забезпечення при інтенсивності роботи 85% від максимального споживання кисню у step-тесті

$\dot{V}O_{2max}$ – стан динамічної рівноваги систем функціонального забезпечення при інтенсивності роботи на піку споживання кисню у step-тесті

тест CP – 2-хвилинний тест «критична потужність» при роботі субмаксимальної інтенсивності

CP $\dot{V}O_2$ – стан динамічної рівноваги систем функціонального забезпечення на піку споживання кисню у тесті «критична потужність»

ВСТУП

За сучасних умов розвитку спорту підвищення результативності шляхом подальшого збільшення тренувальних навантажень має обмежений потенціал, що створює підґрунтя до індивідуалізації підготовки спортсменів на основі їхніх фізіологічних характеристик. Науково–методичну основу такого підходу формують результати, представлені в цій дисертаційній роботі.

Актуальність. Сучасний етап розвитку спортивної науки та практики характеризується зростанням інтенсивності й обсягу тренувальних навантажень, що висуває підвищені вимоги до функціональних можливостей організму спортсменів і потребує науково обґрунтованих підходів до їхнього фізіологічного контролю. В умовах високої конкуренції у спорті вищих досягнень особливого значення набуває своєчасний моніторинг функціонального стану та резервних можливостей організму з урахуванням індивідуальних механізмів адаптації до м'язової діяльності різної тривалості та інтенсивності.

Незважаючи на значний обсяг досліджень, присвячених окремим ланкам кардіореспіраторної системи, енергозабезпеченню та метаболічним реакціям при фізичних навантаженнях, у науковій літературі й практиці спортивної фізіології залишається недостатньо розробленим питання інтегральної оцінки функціонального стану організму на основі узгодженого аналізу режимів масопереносу респіраторних газів, кисневозв'язувальних властивостей та енергетичних характеристик метаболізму. Більшість існуючих підходів мають фрагментарний характер і не дозволяють повною мірою враховувати взаємозв'язки між вентиляційними, гемодинамічними, метаболічними та кислотно–лужними компонентами забезпечення м'язової діяльності.

Особливо актуальною є проблема виявлення індивідуальної схильності спортсменів до певних типів м'язової роботи, специфічних механізмів компенсації втоми та рівня толерантності до граничних навантажень. Нехтування індивідуальними особливостями адаптаційних реакцій підвищує

ризик розвитку перевтоми, хронічних функціональних порушень і зниження спортивної результативності. У цьому контексті перспективним є застосування методів формалізованої стандартизованої оцінки, які дають змогу порівнювати різнорідні фізіологічні показники в єдиному аналітичному просторі.

Водночас у практиці спортивної науки відсутня уніфікована методологія комплексного моніторингу функціональних можливостей організму спортсменів, що базується на кількісному аналізі режимів масопереносу кисню та енергетичних характеристик метаболізму при навантаженнях різної інтенсивності й тривалості. Це обумовлює необхідність розроблення та наукового обґрунтування комплексного підходу, який поєднує фізіологічний моніторинг, аналіз індивідуальних адаптаційних профілів і формалізовані методи оцінювання функціонального стану.

У зв'язку з цим актуальним є дане дисертаційне дослідження, спрямоване на обґрунтування методології комплексного підходу до моніторингу функціонального стану та можливостей організму спортсменів на основі аналізу масопереносу респіраторних газів і енергетичних характеристик метаболізму, що має важливе теоретичне та прикладне значення для спортивної фізіології й практики підготовки спортсменів.

Зв'язок роботи з науковими планами та темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі медичної біології та спортивної дієтології Національного університету фізичного виховання і спорту України, відповідно до Плану науково–дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021–2025 рр. за темою 2.8 «Вплив ендогенних та екзогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (номер державної реєстрації 012U108187). Роль автора як виконавця теми полягала в аналізі та узагальненні науково-методичних джерел з проблематики фізіологічного забезпечення м'язової діяльності спортсменів, організації та проведенні моніторингу функціонального стану і резервних можливостей організму спортсменів

високої кваліфікації, статистичній обробці та інтерпретації отриманих фізіологічних даних, а також розробці методологічних підходів до комплексного оцінювання функціональних можливостей організму спортсменів, зокрема методу квартильного стандартизованого оцінювання (QSGM).

Мета: Розробити та обґрунтувати комплексний моніторинг функціонального стану та резервних можливостей організму спортсменів на основі інтегрованого аналізу фізіологічних та функціональних характеристик та режимів масопереносу кисню при навантаженнях різної інтенсивності та тривалості.

Завдання дослідження:

1. На основі аналізу науково-методичних джерел узагальнити сучасні уявлення про механізми довготривалої адаптації організму до м'язових навантажень різної інтенсивності та тривалості, з акцентом на функціонування кардіореспіраторної системи та систем енергозабезпечення.
2. Розробити та реалізувати моніторинг фізіологічного та функціонального стану спортсменів при навантаженнях високої інтенсивності.
3. Встановити особливості інтеграції фізіологічних систем (дихання, кровообігу, газообміну та метаболізму) у формуванні адаптаційної відповіді організму спортсменів на навантаження різної інтенсивності.
4. Визначити індивідуально-типологічні особливості адаптаційних реакцій організму спортсменів, включаючи тип реакції кардіореспіраторної системи та її реактивність, схильність до певного типу м'язової роботи, особливості формування гіпоксії навантаження, показниками кислотно-лужного профілю.
5. Розробити та обґрунтувати формалізований метод квартильного стандартизованого оцінювання (QSGM) для використання у обробці фізіологічних даних та оцінити його ефективність для проведення індивідуального моніторингу та порівняльного аналізу.

6. Розробити методичні рекомендації щодо застосування комплексного підходу до моніторингу функціональних можливостей спортсменів на основі аналізу масопереносу респіраторних газів і метаболічних характеристик.

Об'єкт дослідження. Методологія визначення функціональних можливостей організму спортсменів.

Предмет дослідження. Моніторинг фізіологічного та функціонального стану, а також режимів масопереносу кисню під час інтенсивної м'язової діяльності.

Наукова новизна одержаних результатів

Вперше:

- розроблено та обґрунтовано систему комплексного моніторингу функціонального стану і резервних можливостей організму спортсменів на основі інтегрованого аналізу режимів масопереносу респіраторних газів і метаболічних характеристик енергозабезпечення при навантаженнях різної інтенсивності;
- запропоновано формалізований метод квартильного стандартизованого оцінювання (QSGM), який забезпечує уніфікацію різнорідних фізіологічних показників шляхом їх трансформації у бальну шкалу на основі квартильного розподілу, що дозволяє оцінювати функціональний стан без припущення про нормальність розподілу даних;
- обґрунтовано підхід до формування типологічних характеристик адаптаційних реакцій організму спортсменів, який базується на інтеграції показників кардіореспіраторної системи, кислотно-лужного стану, механізмів формування та компенсації гіпоксії.

Удосконалено:

- підходи до оцінки функціонального стану спортсменів шляхом структуризації показників у функціональні блоки (вентиляція та дифузія; економічність та ефективність кардіореспіраторної системи; кислотно-лужний

стан; метаболічні характеристики), що забезпечує цілісну інтерпретацію адаптаційних процесів;

- методичні підходи до фізіологічного моніторингу, які дозволяють поєднувати груповий та індивідуальний аналіз із використанням кватильної статистики для оцінки варіабельності та динаміки показників.

Набули подальшого розвитку:

- уявлення про інтегративну оцінку аеробного та анаеробного енергозабезпечення і підтримку гомеостазу в умовах інтенсивних фізичних навантажень;
- підходи до визначення індивідуальних особливостей функціонального стану спортсменів, зокрема за показниками кардіореспіраторної системи, рівня толерантності до гіпоксії та кислотно-лужного профілю;
- застосування кватильних методів статистичного аналізу у спортивній фізіології для інтерпретації багатопараметричних даних.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дисертаційного дослідження мають важливе практичне значення для науково-методичного забезпечення освітньо-наукових, спортивних, організаційних установах.

Методологія оцінки за методом кватилів впроваджена у діяльність Інституту післядипломної освіти Національного університету фізичного виховання і спорту України (Додаток В).

Основні теоретичні положення дисертаційної роботи впроваджено в освітній процес кафедри медичної біології та спортивної дієтології Національного університету фізичного виховання і спорту України (Додаток Г).

Схема тестування для визначення функціональних можливостей була адаптована для використання у бально-спортивних танцях на кафедрі хореографії і танцювальних видів спорту (Додаток Д).

Моніторинг фізіологічних та функціональних параметрів спортсменів впровадженню у науково–методологічне забезпечення роботи лабораторії підготовки спортсменів у водних видах спорту генеральної адміністрації спорту м. Нанчань, Китайська народна республіка (Додаток Е).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійно виконаним науковим дослідженням здобувача. У межах роботи автором здійснено аналіз сучасної вітчизняної та зарубіжної літератури з обраної проблематики, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання, визначено об'єкт та предмет дослідження. Автором здійснено розроблення концепції та методології дослідження, сформовано програму експериментальних досліджень, організовано та проведено експеримент із залученням спортсменів, забезпечено збір, обробку та аналіз отриманих фізіологічних і функціональних показників. Здобувачем виконано статистичну обробку результатів із застосуванням сучасних методів аналізу, інтерпретовано отримані дані, сформульовано основні положення, висновки та практичні рекомендації. Усі наукові результати, наведені в дисертації, отримані автором особисто.

Публікації. Наукові результати дисертації висвітлено в 11 наукових публікаціях: 5 статей у наукових виданнях з переліку наукових фахових видань України; 5 публікацій апробаційного характеру; 1 публікація додатково відображає наукові результати дисертації (Додаток А).

Апробація результатів дисертації. На кафедрі медичної біології та спортивної дієтології Національного університету фізичного виховання і спорту України у співавторстві видано «Методичні вказівки до самостійної роботи аспірантів: методологія визначення функціональних можливостей та енергетичних характеристик організму спортсменів на основі аналізу режимів масопереносу респіраторних газів і їх впливу на кислотно–лужний стан крові». Результати дисертаційного дослідження апробовано на низці науково–практичних конференцій різного рівня, зокрема міжнародних. Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на I Міжнародній

науково–практичній конференції «Адаптаційні та психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту» (Київ–Черкаси, 2023), де було представлено результати теоретичного аналізу впливу змін інтенсивності тканинного дихання на прояви гіпоксії навантаження; XVI Міжнародній конференції молодих вчених «Молодь та олімпійський рух» (Київ, 2023), присвяченій актуальним проблемам підготовки спортсменів та фізіологічного моніторингу їх функціонального стану; V Міжнародній науково–практичній конференції «Здоров'я нації і вдосконалення фізкультурно–спортивної освіти» (Харків, 2025), де висвітлено результати дослідження динаміки кислотно–лужного стану крові при м'язовій діяльності; 7–й Міжнародній науково–практичній конференції «Global Trends in Science and Education» (Київ, 2025), на якій представлено результати моделювання змін гемодинамічного еквіваленту під час фізичних навантажень; а також у науковому збірнику «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації» (2026), де розглянуто особливості функціональних проявів кардіореспіраторної системи у формуванні масопереносу кисню. Представлені доповіді викликали наукову дискусію та отримали позитивну оцінку фахівців, що підтверджує наукову значущість і практичну цінність отриманих результатів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 228 сторінках загального тексту (основний текст – 155 сторінок) складається з анотацій, вступу, огляду літератури, опису матеріалів та методів досліджень, трьох розділів власних досліджень, висновків, списку використаної літератури (164 джерела, із яких 134 відображають результати досліджень зарубіжних фахівців), а також додатків. Результати дослідження проілюстровано 21 рисунками та 27 таблицями.

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ФІЗІОЛОГІЧНІ МЕХАНІЗМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЇХ ОЦІНКУ

1.1 Характеристики адаптаційних змін, що сформувались у відповідь на м'язове навантаження різної тривалості та інтенсивності

1.1.1 Реактивність та резистентність як основа формування адаптаційних змін у відповідь на фізичні навантаження. Функціональні резерви організму

Фундаментальними поняттями адаптації організму до зовнішніх впливів є реактивність і резистентність. Реактивність характеризує здатність організму швидко й адекватно відповідати на зовнішні та внутрішні стресори, тоді як резистентність відображає здатність підтримувати стабільність внутрішнього середовища. Ці властивості взаємопов'язані: ефективна реактивність сприяє підтримці резистентності, а резистентність забезпечує оптимальну мобілізацію адаптаційних ресурсів (*McEwen & Akil, 2021; Sapolsky R, 2021*) [78, 105].

«Адаптивна реактивність» за *Sapolsky R* [105] є комплексним процесом, що передбачає координацію нейроендокринної, імунної та метаболічної систем, забезпечуючи мобілізацію ресурсів під час короткочасного стресу та формування довготривалих адаптаційних змін. Концепція підкреслює баланс між мобілізацією ресурсів і підтриманням гомеостазу, що лежить в основі стійкості організму. Її теоретичні засади були сформовані школою Миколи Сиротініна, яка систематизувала механізми реактивності та резистентності [156].

Під впливом регулярного фізичного навантаження термінова адаптація (зміни кровообігу, дихання, гормональної секреції, метаболізму та активності ЦНС) трансформується у стійкі морфофункціональні зміни, що підвищують потужність і витривалість систем організму [9, 33]. Цей процес

опосередковується нейроендокринними, тканинними та молекулярними механізмами. У результаті формується довготривала адаптація та зростає здатність організму підтримувати гомеостаз в умовах навантаження [82, 104, 151].

Ресурси організму відображають сукупність фізіологічних і біохімічних механізмів, що забезпечують життєдіяльність і виконання фізичної роботи, тоді як резерви характеризують потенціал змін активності органів і систем у відповідь на навантаження. Їх оцінка використовується для визначення адаптаційних можливостей організму [20, 117].

Функціональні резерви поділяють на морфологічні, фізіологічні та біохімічні. Вони реалізуються через зміну інтенсивності метаболічних і фізіологічних процесів на різних рівнях організації, що сприяє вдосконаленню регуляторних механізмів і підвищенню працездатності [94].

Функціональні резерви умовно поділяють на три рівні: базовий, компенсаторний і резерви вищого рівня. Вичерпання останніх може призводити до розвитку хронічної втоми, що зумовлює необхідність індивідуалізації тренувальних і відновлювальних впливів [49, 149]. У спорті вищих досягнень це реалізується через застосування спеціалізованих засобів підготовки та відновлення [14, 93, 134].

1.1.2 Фізіологічні зміни кардіореспіраторної системи та кисневозв'язувальних властивостей крові, що супроводжують термінову адаптацію до інтенсивного фізичного навантаження

Добре відомо, що обмін речовин є основою існування живого організму. Особливе його значення – забезпечити виконання механічної роботи. Він включає в себе хімічні реакції, що забезпечують перетворення речовин з одних форм у інші з утворенням енергії. За *Samaja & Ottolenghi, 2023*, цей процес багато в чому забезпечується системним диханням, що включає поетапне переміщення кисню (O_2) та вуглекислого газу (CO_2) в організмі [101], розщеплення речовин, синтез біомолекул, виведення відходів тощо.

У стані спокою енергетичні процеси в скелетних м'язах складають близько 25% основного обміну, при максимальній м'язовій роботі вони можуть збільшуватися в 100 разів, що підвищує навантаження на відповідні системи [29]. У силових видах спорту та єдиноборствах, не зважаючи на інші морфо функціональні зміни в результаті тренувань (*Lukyantseva et al*) спостерігаються збільшення серцевого викиду (SV, мл) та покращення регуляції артеріального тиску [85; 152].

Циклічні види спорту формують умови для максимальної реалізації потенціалу дихальної та серцево–судинної систем під час навантаження [147, 155]. Кисневозв'язувальні властивості крові (КЗВК) змінюються, щоб забезпечити адекватне постачання O_2 тканинам. Ці зміни відображають адаптацію серцево–судинної та респіраторної систем до зростання метаболічних потреб. У спокої КЗВК характеризується стабільними показниками артеріальної та венозної сатурації (S_aO_2 , S_vO_2 об.%), а також парціального тиску кисню, що забезпечує достатній рівень споживання кисню ($\dot{V}O_2$, л/хв) під час напруженої роботи м'язів. За помірного навантаження S_aO_2 майже не змінюється, тоді як венозна знижується через збільшення O_2 забору м'язами з артеріальної крові. Зростання інтенсивності призводить до подальшого зниження S_vO_2 . Зі збільшенням роботи зростає ефективність екстракції O_2 тканинами, а зміни концентрації іонів водню (H^+), CO_2 , парціального тиску O_2 (PO_2) та температури підвищують спорідненість гемоглобіну (Hb) до O_2 , що впливає на приєднання O_2 в легенях та його віддачу у тканинах [8].

В результаті активного використання енергетичних та пластичних ресурсів, кількість їх надходження не відповідає запиту, в той же час, підвищується утворення молочної, піровиноградної кислот через підключення анаеробного гліколізу та інших компонентів обміну (продукти розпаду білків, жирів) [133]. Активно долучаються до роботи буферні системи крові [22], що викликає появу надлишкового (неметаболічного) CO_2 , що також може мати стимулюючу дію на систему зовнішнього дихання.

1.1.3 Механізми енергозабезпечення та методики їх аналізу

Співвідношення внеску гліколізу та окисного фосфорилування у синтез АТФ визначає ключові аспекти клітинного енергетичного метаболізму при тривалих навантаженнях. Вони потрібні для підтримки життєдіяльності, включаючи ресинтез пластичних речовин, збереження температури тіла, травлення, виконання механічної роботи та інших фізіологічних процесів. Для розуміння енергетичного балансу організму, фізіологи вимірюють кількість спожитої енергії, встановлюють відношення між спожитою та витраченою енергією, вивчають механізми її обміну та аналізують ефективність цих процесів (Liu H *та ін.*, 2025) [69].

Відомо, що взаємодія анаеробних (алактатного та гліколітичного) і аеробного механізмів енергозабезпечення м'язової роботи є динамічною: на початкових етапах скорочення переважають анаеробні шляхи, далі, у міру активації КРС та підвищення доставки O_2 до тканин, основну роль набирає аеробна система. При високій інтенсивності навантаження або обмеженій доступності O_2 знову активуються анаеробні механізми. У роботах Poole D інтегральними маркерами, що відображають баланс між аеробними та гліколітичними процесами й дозволяють кількісно оцінити метаболічні та фізіологічні адаптації є вентиляційні пороги (aerobic ventilator threshold VT1, anaerobic ventilator threshold VT2) та лактатний поріг (lactate threshold LT) [16, 92].

Ключовими зонами, що демонструють залежність фізіологічних проявів та змін дихальної та метаболічної відповіді на навантаження є VT1 та VT2 [7]. Вони є неінвазивними маркерами переходу між основними зонами енергозабезпечення й тісно пов'язані з динамікою кислотно-лужного стану (КЛС). На графіку рис 1.1 зображено криві, що відображають динаміку вентиляційних еквівалентів за киснем та вуглекислим газом ($E_{q\dot{V}O_2}$ л/л) і E_{qCO_2} , л/л), що наочно відображає зміну вентиляційної ефективності при

інтенсивності навантаження у степ-тесті. Детально опис експериментальної частини надано у розділі 2.

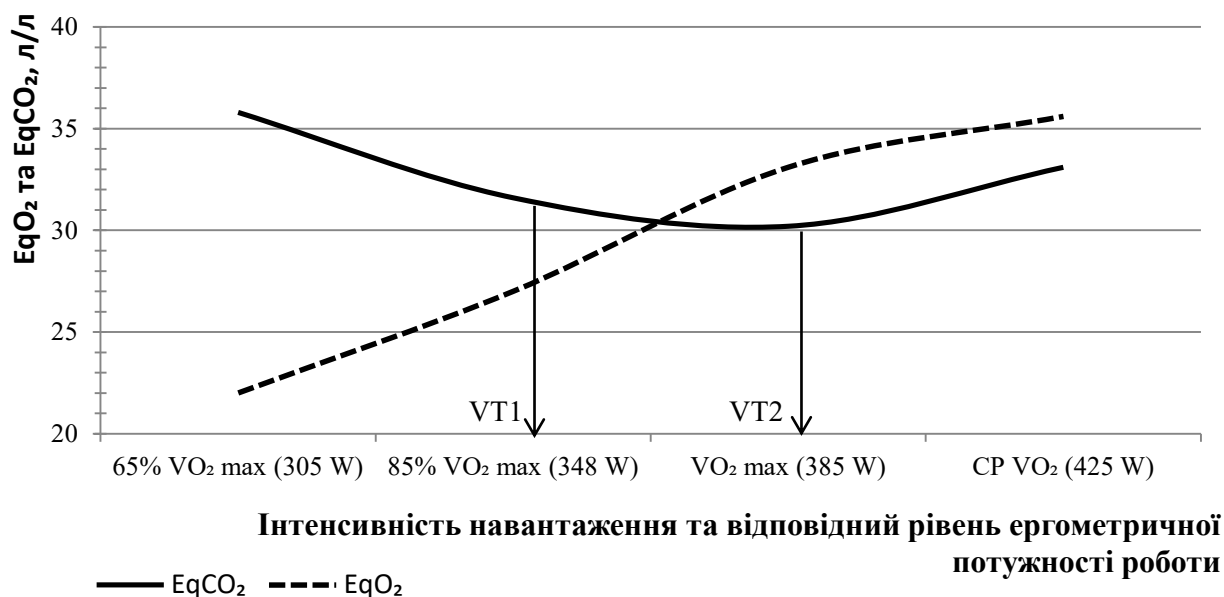


Рисунок 1.1 – Графічне зображення вентиляційних порогів

VT1 – перший вентиляційний поріг – зона, коли V_E починає зростати швидше відносно $\dot{V}O_2$ без пропорційного збільшення кількості виділеного CO_2 ($\dot{V}CO_2$) з метою компенсації його надлишку. У цей момент відбувається посилене окиснення вуглеводів, спостерігаються перші ознаки накопичення лактату (сіль молочної кислоти, La ммоль/л). VT1 дає можливість охарактеризувати ефективність та економічність аеробного метаболізму енергозабезпечення.

Зона, у якій V_E починає зростати швидше за $\dot{V}CO_2$ через різке накопичення іонів H^+ та метаболічний ацидоз, у літературі описана як VT2. У цей момент відбувається значне збільшення продукції La , активності буферних систем та відповідний приріст CO_2 . VT2 характеризує здатність до тривалої роботи у зоні високої інтенсивності: гліколітичну ємність, ефективність буферних систем та толерантність організму до метаболічного ацидозу.

LT – інтенсивність навантаження, після якої La в крові починає різко зростати, що зображено на рисунку 1.2 [46]. Анаеробний гліколіз починає переважати над окисним метаболізмом або організм вже не встигає утилізувати La, і його накопичення призводить до зміщення КЛС. LT є точним маркером ефективності аеробної системи, чим вища інтенсивність, при якій починається експоненційне зростання La, тим краща здатність організму працювати, утилізуючи La і підтримуючи переважно окисний метаболізм.

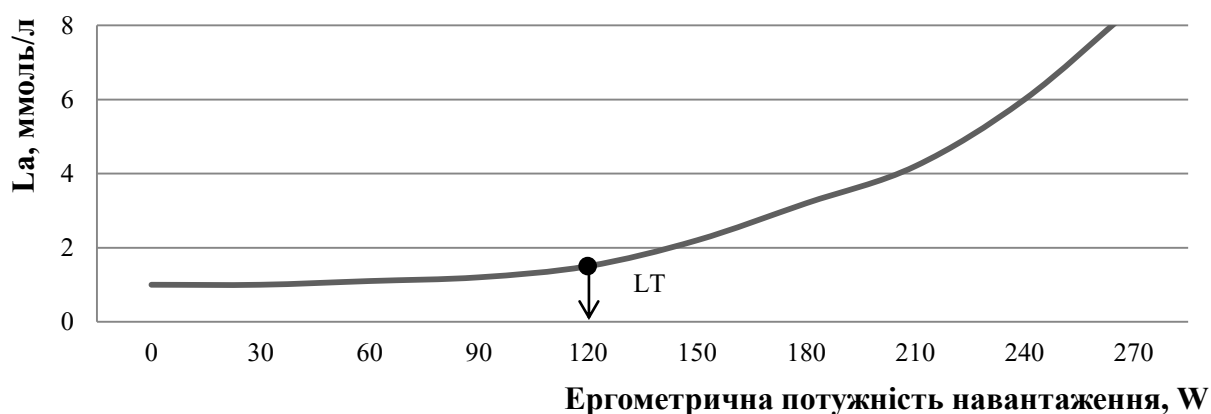


Рисунок 1.2 – Графічне зображення лактатного порогу (за Goodwin & Harris)

Дослідження демонструють високу кореляцію між VT1 і LT: при зміні $\dot{V}O_2$ зазвичай відбувається і перший помітний підйом концентрації La в крові [16]. Але потрібно враховувати, що при певних типах навантажень або в результаті специфічних адаптаційних змін LT може зрушуватись значно, а VT1 – не змінюватися або змінюватися іншим чином. Тож при проведенні комплексних досліджень корисно розглядати обидва методи.

Важливим маркером метаболічної та фізіологічної відповіді на м'язове навантаження високої інтенсивності є *EPOC* (*Excess Post-exercise Oxygen Consumption*): надлишкове $\dot{V}O_2$ після завершення роботи. Зустрічається в літературі як «кисневий борг», але є ширшим поняттям, так як не зводиться до реоксигеноції, а розглядає інші процеси, що супроводжують відновлення

аеробної системи [119], такі як відновлення запасів АТФ та креатинфосфату у м'язах, окиснення La, відновлення КЛС та іонного балансу а також активацію синтезу білку.

ЕРОС характеризується двома фазами відновлення. Швидка фаза виникає одразу після припинення навантаження і триває декілька хвилин. Вона включає ресинтез АТФ, відновлення креатинфосфату (КРФ), початок нейтралізації метаболічного ацидозу. Повільна фаза триває від кількох хвилин до кількох годин: забезпечується окиснення La, глюконеогенез, стабілізація гормонального фону та інші відновні процеси. Аналіз двох фаз дозволяє оцінити метаболічну активність та енергетичну ефективність організму спортсмена після навантаження, а також використовувати ЕРОС як маркер здатності до відновлення [87]. Далі у тексті під терміном ЕРОС мається на увазі саме швидка його фаза. Про феномен ЕРОС можна говорити комплексно, через інтеграцію фізіологічних та метаболічних показників: в разі збереження рівня $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, HR, V_E , температури тіла вищими за рівень спокою, а співвідношення між $\dot{V}CO_2$ і $\dot{V}O_2$ (respiratory exchange ratio, RER) близьким до 1, можна говорити про активні процеси відновлення після м'язового навантаження.

1.1.4 Зміни кислотно–лужного стану організму

Основним метаболітом, що утворюється в результаті анаеробного гліколізу, який активно відбувається під час м'язового інтенсивного навантаження, являється молочна кислота. Вона швидко втрачає іони H^+ , приєднуючи іони Na^+ чи іони K^+ , утворюючи таким чином сіль молочної кислоти лактат (La). Саме вільні іони H^+ викликають значні зрушення кислотно–лужного стану (КЛС), тобто спричиняють метаболічний ацидоз [17, 41].

У крові здорової людини підтримується стала концентрація іонів H^+ , що складає в артеріальній крові $pH = 7,36$, тобто реакція нормальної крові є слабколужною. При виконанні фізичних вправ субмаксимальної інтенсивності pH знижується у спортсменів середньої кваліфікації до $7,1-7,2$, а у спортсменів світового класу зниження кислотності крові сягає $< 7,0$, а pH працюючих м'язів може опускатись до $6,4-6,2$. Зміни pH крові у кислу сторону дійсно асоціюються із зростанням рівня La , але зв'язок нелінійний, бо організм одночасно буферує іони H^+ бікарбонатною системою, виводить CO_2 через дихання та може частково компенсувати нирками (довготривалий механізм компенсації метаболічного ацидозу). На графіку (рис. 1.3) представлено взаємозв'язок між рівнем La та pH крові у спортсменів високої кваліфікації та здорових нетренираних осіб [63].

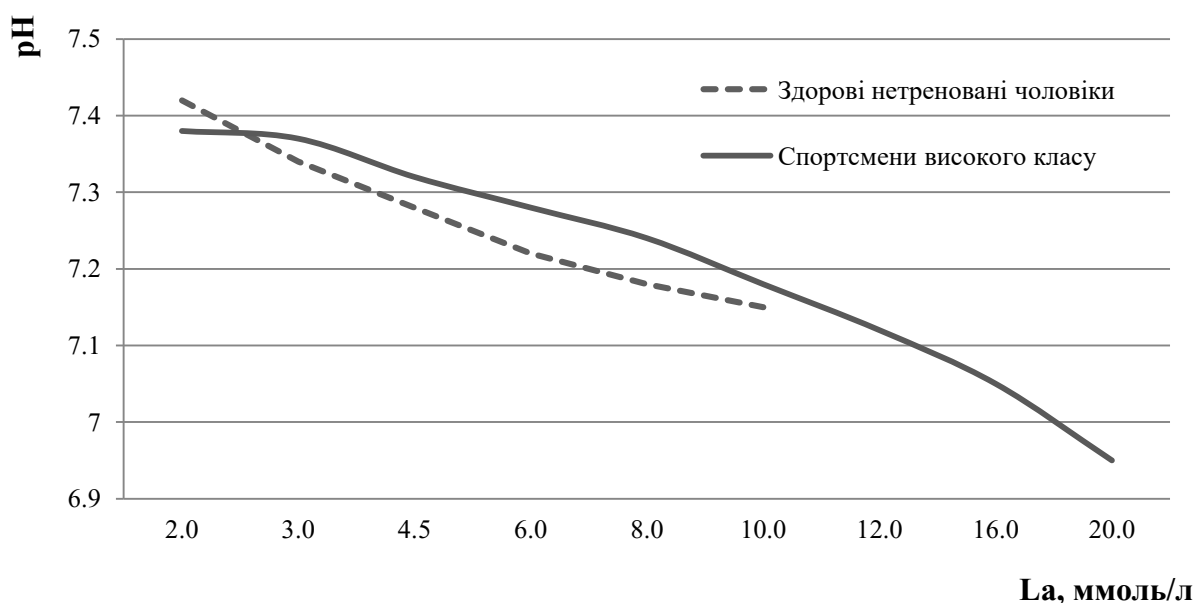


Рисунок 1.3 – Динаміка зміни кислотності крові відносно концентрації лактату (за *Kristensen M та ін., 2005*)

Криві демонструють, що зі зростанням концентрації La відбувається поступове зниження pH , однак характер цього зниження суттєво відрізняється. У групі нетренираних осіб зниження pH є більш різким і відбувається вже при

порівняно низьких значеннях La (4–6 ммоль/л), що свідчить про обмежені можливості буферних систем та знижений резерв компенсації метаболічного ацидозу. У спортсменів високої кваліфікації спостерігається більш полого крива: рН знижується повільніше, навіть за умов значно вищих рівнів La ($10 < \text{ммоль/л}$). Це відображає підвищену буферну ємність, більш ефективну роботу вентиляційних та метаболічних компенсаторних механізмів, а також загалом вищу толерантність до метаболічного стресу, що відображає характер адаптації до навантажень великої потужності.

Цікавим є взаємозв'язок описаних вище процесів та фізичної працездатності. Накопичення та виведення у кров продуктів енергетичного обміну, таких як молочна та піровиноградна кислоти, аміак, сечовина, кетонів тіла тощо являється серйозним обмежуючим фактором для масопереносу O_2 в організмі [140] та об'єктивним маркером настання втоми. Зв'язок між виснажливими фізичними вправами, молочною кислотою та ацидозом у людей був вперше описаний понад 100 років тому (*Fletcher W, 1907; Hill & Lupton 1923*, а сучасні дослідження (*Rabinowitz J et al 2020*) переглядають роль La як сигнальної молекули [42, 50, 97]. Питання, чи є молочна кислота або ацидоз «основним чинником втоми», досі є дискусійним. У дослідженні 2025 року *Cairns & Lindinger* описують умови індукованого фізичним навантаженням ацидозу на рівні м'яза [17]. Зниження рН з 7,1–7,0 до 6,9–6,3 охоплює незначні зміни у волокнах повільного скорочення ($pH \approx 6,9$) та значні зміни у волокнах швидкого скорочення ($pH \approx 6,2$), тож метаболічний ацидоз є одною з причин виникнення втоми та зниження працездатності у волокнах швидкого типу. Депресивний вплив зростання концентрації іонів H^+ і фосфатів реалізується головним чином через міофіламентні білки, що знижує максимальну функцію поперечних містків та чутливість до Ca^{2+} . Знання цих механізмів надають широке поле для подальших наукових досліджень та шляхів підвищення функціональних можливостей.

Ще *Mainwood & Worsley–Brown, 1975* описали, роль La у енергетичному метаболізмі [75]. Частина La використовується як субстрат в окислювальних тканинах – міокарді, скелетних м'язах, печінці (для гліюконеогенезу). Піруват, отриманий з La , може входити в цикл трикарбонових кислот при наявності O_2 . [128].

Сучасні підходи до аналізу КЛС крові та оцінки ефективності буферних систем в основному ґрунтуються на комбінованому використанні лабораторних показників, розрахункових моделей та динамічного спостереження [79].

Для фіксації та автоматичного прорахунку КЛС використовуються газоаналізатори нового покоління, що дозволяють реєструвати та розраховувати: pH , P_aO_2 , P_aCO_2 , S_aO_2 , P_aCO_2 , HCO_3^- (бікарбонат, буферна ємність), BE (Base Excess, надлишок/дефіцит буферів), La , електроліти (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^-), Hb . Цього цілком достатньо для поглибленого аналізу динаміки КЛС [17] у стані спокою, під час фізичного навантаження та у період відновлення.

1.2 Сучасні підходи до оцінки систем транспорту кисню та енергозабезпечення при м'язовому навантаженні різної тривалості та інтенсивності

1.2.1 Кардіореспіраторна система та газообмін

Дослідження функціонального стану кардіореспіраторної системи (КРС) є одним із ключових напрямів сучасної фізіології та медицини, оскільки її показники безпосередньо відображають рівень фізичного здоров'я, адаптаційні можливості організму та ефективність енергозабезпечення м'язової діяльності. Накопичення масивів даних щодо параметрів КРС у різних груп населення, зокрема осіб різного віку та рівня тренуваності (*Фурман та ін, 2021; Хорошуха & Філіппов, 2023*) [161, 164], створює підґрунтя для формування модельних характеристик, які можуть

використовуватися як референтні критерії під час функціонального тестування й довготривалого моніторингу. Особливу цінність у цьому контексті становлять обстеження спортсменів, оскільки високий рівень розвитку їхніх функціональних систем дозволяє більш чітко простежити межі фізіологічної норми, варіанти адаптаційних реакцій та компенсаторні механізми.

Класичною і поширеною методикою, що застосовується для оцінки системи зовнішнього дихання є спірометрія: метод оцінки дихальних об'ємів та кількості дихальних циклів (f , д.ц./хв) [11]. У сучасних лабораторіях спірометричні дослідження часто комбінують з газоаналізом, що дозволяє оцінювати динаміку респіраторних газів та RER. У дослідженні КРС застосовуються і низка розрахункових показників: дифузійна здатність легень для кисню ($D_{L}O_2$) описує фізичні обмеження переходу O_2 через альвеолярно–капілярну мембрану за градієнта тиску відповідно до закону Фіка [112], і є важливою при оцінці легень при фізичному навантаженні [31].

У першій чверті XX ст. з'явився інтерес до кількісної оцінки здатності організму споживати O_2 під час фізичного навантаження. Британський фізіолог *Archibald Vivian Hill* досліджував, як м'язова робота і $\dot{V}O_2$ корелюють на рівні усього організму [6]. У 1923 р. *Hill & Lupton* опублікували роботу, в якій вперше формально запропонували поняття «максимального споживання кисню» (maximal oxygen uptake), а також ввели також поняття «кисневого боргу» (oxygen debt) – ідеї, що після інтенсивного навантаження тіло потребує підвищеного $\dot{V}O_2$ для відновлення (розділ 1.1.3), що заклало основу для сучасних уявлень про аеробний та анаеробний метаболізм [50].

Згідно сучасних стандартів, для комплексного аналізу систем зовнішнього дихання, гемодинаміки та газообміну передбачає застосування як традиційних, так і новітніх неінвазивних методик – часто комбінованих у рамках функціональних тестів задля комплексної характеристики стану спортсменів. Класичні максимальні та субмаксимальні тести залишаються фундаментальними методами оцінки аеробної потужності та

кардіореспіраторної функції. Вони дозволяють визначити максимальну здатність організму транспортувати та використовувати O_2 під час інтенсивного фізичного навантаження. Методика передбачає поступове збільшення інтенсивності навантаження до моменту досягнення “плато” $\dot{V}O_2$ або неможливості продовження фізичної роботи, що дозволяє зафіксувати межу функціональної здатності серцево–судинної та дихальної системи. Цей підхід був значно розвинений *Bassett & Howley, Wagner P* [6, 15], які описали сучасні стандарти проведення тестів та інтерпретації результатів. *Astrand P, 1986* розробив класичний Astrand–Rhyming Test [4], який дозволяє оцінити аеробну потужність спортсменів без необхідності доводити їх до виснаження. Методика передбачає 6-хвилинне навантаження на велоергометрі з фіксацією частоти HR, на основі якої обчислюється приблизне $\dot{V}O_{2max}$. Цей тест став ключовим інструментом для швидкої, безпечної і повторюваної оцінки аеробного потенціалу, особливо в результаті значного технічного прогресу засобів та методів тестування [85].

У *Mishchenko V* та його послідовників описаний комплексний підхід для оцінки чутливості кардіореспіраторної системи до гіпоксичних і гіперкапнічних стимулів під час фізичного навантаження [80]. Його суть полягає у аналізі динаміки вентиляційної відповіді на контрольовані зміни споживання O_2 та виділення CO_2 в умовах стомлення. У роботах *Diachenko A, Rusanova O* [24, 25, 154]. Дана методика лежить в основі багатьох сучасних наукових досліджень у функціональному тестуванні спортсменів різних спеціалізацій [84, 147].

Результати функціональних тестів дають змогу індивідуалізувати тренувальний процес та обґрунтовано застосовувати ергогенні чинники, що в сукупності сприяє підвищенню спеціальної працездатності спортсменів [5], що розглядалось ще у класичних дослідженнях (*West J, 1984*) [126]. На основі тестових навантажень визначають спрямованість метаболічних зрушень і ефективність утилізації La , що дозволяє коригувати як тренувальні режими, так і дієтологічний супровід підготовки, підвищуючи економічність

функціонування організму та стійкість до втоми (*Stankevich & Zemtsova, 2020*) [111].

Bezmylov M, Shynkaruk O et al (2022) проаналізовано показники фізичного розвитку, функціонального стану організму та спеціальної працездатності баскетболістів залежно від їх ігрової ролі. Встановлено, що гравці різних позицій мають специфічні морфологічні та функціональні характеристики, які визначають ефективність їхньої ігрової діяльності [110].

Застосування відновлювальних засобів (раціонального режиму відпочинку, сауни, масажу), ефективність яких оцінюється за динамікою функціональних і метаболічних показників, сприяє прискоренню перебігу відновлювальних процесів, підвищенню спеціальної фізичної працездатності та стійкості до тренувальних навантажень у спортсменів [148].

1.2.2 Кисневозв'язувальні властивості крові

Кисневозв'язувальні властивості крові (КЗВП) розглядається як одна з ключових ланок забезпечення енергетичних потреб організму спортсмена за умов інтенсивних фізичних. Ефективність доставки та утилізації O_2 визначається узгодженою взаємодією гемоглобінового, мікроциркуляторного та тканинного компонентів, що має особливе значення для циклічних видів спорту з високою та субмаксимальною потужністю роботи [150]. У спортивній фізіології КЗВК оцінюють на основі комплексного аналізу показників артеріальної та венозної оксигенації (S_aO_2 , S_vO_2), парціального тиску O_2 (P_aO_2 , P_vO_2), вмісту O_2 у крові (C_aO_2 , C_vO_2), а також артеріо–венозного градієнта $C_{a-v}O_2$, що дозволяє охарактеризувати узгодженість центральних і периферичних механізмів транспорту O_2 під час фізичного навантаження. Параметри S_vO_2 та C_vO_2 розглядаються як індикатори глибини тканинної десатурації та інтенсивності м'язового вилучення O_2 , тоді як стабільність артеріальних показників свідчить про ефективність легеневої ланки масопереносу O_2 навіть за умов значного метаболічного навантаження [16]. Водночас підвищення артеріо–венозної різниці $C_{a-v}O_2$ розглядається як один із ключових механізмів

зростання $\dot{V}O_2$ під час роботи високої інтенсивності та відображає адаптацію периферичних ланок транспорту O_2 , зокрема розвиток капілярної мережі та окиснювальних властивостей скелетних м'язів у тренуваних спортсменів [86].

1.2.3 Режими масопереносу респіраторних газів

Один із найінформативніших підходів для оцінки того, як O_2 поетапно транспортується в організмі та наскільки його надходження відповідає метаболічним потребам, полягає в аналізі транспорту респіраторних газів. У дисертаційному дослідженні розглянуто саме режими масопереносу кисню (РМК), адже параметри масопереносу O_2 відображають не тільки максимальні можливості аеробної системи, а взаємодію вентиляційної, гемодинамічної та метаболічної ланок у забезпеченні $\dot{V}O_{2max}$. Цей процес забезпечується не однією, а кількома взаємопов'язаними функціональними системами, що дозволяє комплексно оцінити ефективність постачання O_2 до працюючих тканин [31, 122]. Кількісну та якісну характеристику дає аналіз двох груп керованих параметрів: швидкості руху O_2 на етапах шляху в організмі (qO_2) та його парціального тиску (PO_2) [99].

Комплексний аналіз РМК дає змогу визначити ключові ланки, що обмежують забезпечення організму O_2 і, відповідно, його працездатність. У процесі дослідження особлива увага приділяється динаміці фізіологічних змін у перехідних режимах: від стану спокою до навантаження, від меншої до більшої інтенсивності навантаження, а також від навантаження до відновлення. Для прикладу, при порівнянні змін РМК спортсменів однакової кваліфікації з однаковим $\dot{V}O_2$, механізми, що його забезпечують (вентиляція, дифузія, кровоток) можуть відрізнятися [55]. Комплексний підхід для розрахунку та оцінки РМК дає змогу виділити та об'єктивно описати стадії розвитку гіпоксії навантаження (ГН) при незадовільненні O_2 – запиту, проаналізувати РМК під час м'язової діяльності. Він також може застосовуватися для оцінки ролі змін $\dot{V}_E$ у підтриманні P_{AO_2} для кількісного аналізу внеску кровотоку та кисневозв'язуючих властивостей крові в

забезпечення масопереносу O_2 від легень до тканин, у компенсації ГН, а також для оцінки здатності тканин ефективно використовувати O_2 . Це було детально розглянуто у класичних (*Richardson R, 1998*) та сучасних (*Filippov M et al, Samaja M & Ottolenghi S, Dominelli P et al*) дослідженнях [32, 40, 59, 99, 101].

Розроблений підхід дає змогу охарактеризувати швидкість і інтенсивність поетапної доставки O_2 , її відповідність метаболічним потребам, а також описати РМК під час м'язової діяльності, що було апробовано у авторських статтях [157, 160].

Зміни кардіогемодинаміки сприяють підтриманню рівня P_aO_2 та дають змогу кількісно оцінити внесок кисневозв'язувальних властивостей крові у транспорт O_2 від легень до тканин. Це дозволяє проаналізувати розвиток гіпоксії навантаження, зумовленої м'язовою роботою, визначити ефективність утилізації доставленого O_2 тканинами, а також з'ясувати роль анаеробного гліколізу у забезпеченні фізичної працездатності [158, 159].

Об'ємна швидкість транспорту кисню в організмі

Об'ємна швидкість пересування O_2 (q_{O_2} , л/л) це один із ключових показників, що описує, як O_2 транспортується від атмосфери до тканин і споживається організмом під час м'язового навантаження, характеризуючи абсолютну об'ємну швидкість масопереносу O_2 в організмі. Каскад показує обмежувальні фактори для навантаження високої інтенсивності: легені ($q_A O_2$), серце і кровоносні судини ($q_a O_2$), тканинний рівень ($q_t O_2$, $q_v O_2$) [143, 158]. На графіку (рис. 1.4) зображена інтерпретація каскадів об'ємної швидкості масопереносу O_2 при інтенсивності роботи 65% від $\dot{V}O_{2max}$.

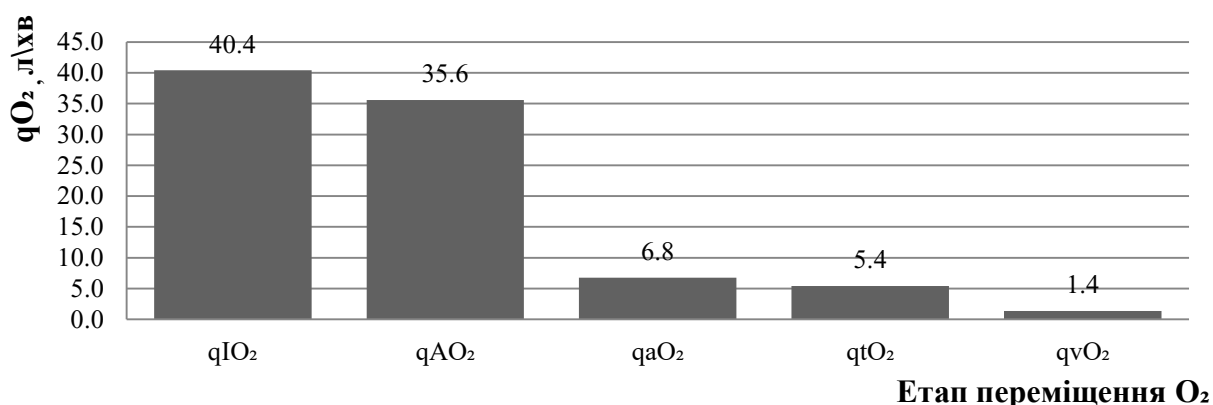


Рисунок 1.4 – Каскад об'ємних швидкостей переміщення кисню в організмі у спортсмена А при роботі з інтенсивністю 65% $\dot{V}O_{2max}$

Кожен «крок» відображає зменшення O₂ по мірі його просування в організмі і використання його тканинами, що і є сенсом каскаду. Такий підхід відображає загальне навантаження на O₂ – транспортну систему та є інформативним для оцінки сумарної доставки O₂, наприклад, при аналізі індивідуальних змін або при оцінці системної відповіді на зростання інтенсивності фізичного навантаження. В результаті адаптації до інтенсивної м'язової роботи зростає швидкість масопереносу O₂, що визначається зниженням співвідношення між швидкістю поетапного просування O₂ в організмі і його споживанням [15].

Парціальні тиски кисню в організмі

В основі масопереносу O₂ в організмі лежить каскад його парціальних тисків (PO₂), який формує послідовний дифузійний градієнт від атмосферного повітря до мітохондрій. Уздовж цього шляху відбувається ступінчасте зниження PO₂, що визначає ефективність кожної ланки системи транспорту та утилізації O₂. Аналіз окремих рівнів каскаду дозволяє локалізувати потенційні обмеження доставки O₂ під час фізичного навантаження.

Альвеолярний парціальний тиск кисню (P_AO₂) є першим фізіологічно регульованим рівнем каскаду та визначає рушійну силу дифузії O₂ з альвеол у кров. Його величина залежить від фракції вдихуваного O₂, барометричного тиску (P_B), вологості повітря та альвеолярної вентиляції (V_A), зокрема через

вплив P_aCO_2 і респіраторного коефіцієнта (RER), а також формує початковий дифузійний потенціал і є чутливим до вентиляційних обмежень та порушень вентиляційно–перфузійного співвідношення [36].

У дослідженнях *Dominelli & Sheel, 2024; Samaja & Ottolenghi, 2023* артеріальний та венозний парціальні тиски кисню (P_aO_2 та P_vO_2 , мм.рт.ст) відображають інтегральну ефективність легеневого газообміну, проходження альвеолярно–капілярного дифузійного бар'єру та тканинної утилізації [31, 101].

Під час фізичного навантаження P_aO_2 зазвичай підтримується за рахунок адаптації $\dot{V}_E$, проте може знижуватися при високих інтенсивностях або $\dot{V}/\dot{Q}$ –неузгодженості. P_vO_2 є інтегральним маркером тканинної екстракції O_2 та балансу між його доставкою і споживанням, а його зниження при навантаженні відображає зростання метаболічного попиту та залучення периферичних механізмів утилізації O_2 . Аналіз цих змін дозволяє виявити, де саме в каскаді виникають обмеження доставки O_2 – на рівні легень, артеріального транспорту або тканинної утилізації [32].

Ефективність режимів масопереносу кисню

Ефективність РМК характеризується величиною транспортованого O_2 до спожитого на різних ланках ($E_f q_{O_2}$, л/л). Такий підхід дозволяє оцінити не лише абсолютні величини $\dot{V}O_2$, а й співвідношення між потенціалом його транспорту та фактичним споживанням, що важливо для виявлення лімітуючих механізмів фізичної працездатності [153.]. Певні співвідношення q_{O_2}/q_tO_2 можуть свідчити про обмеження доставки O_2 до м'язів, знижуючи здатність організму підтримувати високу інтенсивність навантаження (*Grassi & Wagner, 2023*) [47]. Каскад використання O_2 у легенях, артеріальною кров'ю та утилізації його м'язами відображає ефективність саме переміщення O_2 з одного етапу дихання на інший. Величина O_2 , яка вилучається з газового або кров'яного потоку на певному етапі транспортного каскаду, відображає ефективність переходу O_2 від зовнішнього середовища до працюючих м'язів [95]. Каскад використання та утилізації O_2 відображає, яка його частка (%)

справді переходить через відповідну ланку: від вдихуваного повітря до крові та далі до тканин. Показник використання O_2 з вентиляційного потоку ($KU_L O_2$, %) вимірюється як різниця фракцій O_2 у вдихуваному і видихуваному повітрі, та є інтегральним показником ефективності газообміну. Легеневий коефіцієнт використання O_2 (O_2ER_L , %) та коефіцієнт утилізації (O_2ER_t , %) інтегрують зміни парціальних тисків на альвеолярно–артеріальній ланки та концентрацій O_2 артеріальної та венозної крові [127]. У нормі при фізичній активності O_2ER_L зростає, щоб підтримати O_2 запит, а при критичному зниженні його доставки доходить до межі й O_2ER_t . У комплексі це призводить до ГН, збільшення частки анаеробного метаболізму та тимчасового зниження фізичної працездатності. Сукупно ці показники формують єдиний блок, який дозволяє простежити послідовне зниження відсоткової частки O_2 після переходу між ланками РМК ($F_I O_2 \rightarrow P_A O_2 \rightarrow C_a O_2 \rightarrow C_v O_2$) та ідентифікувати лімітуючі ланки системи O_2 –забезпечення.

Киснева вартість робочої потужності

У сучасних оглядах каскаду O_2 –транспорту під час фізичного навантаження підкреслюється значення співвідношення між qO_2 та механічною потужністю для оцінки ефективності функціонування системи енергозабезпечення м'язової роботи (*Richardson & Wagner, 2024; Poole D, 2024; Dominelli P, 2021*) [15, 16, 32]. У роботах *Mishchenko V* та його колег використовуються похідні індекси, що відображають показники споживання чи транспорту O_2 , нормовані на потужність або виконану роботу, для оцінки ефективності забезпечення м'язової діяльності [24, 81]. Це методично відповідає змісту показника WqO_2 (мл/В), що відображає питому кількість O_2 на різних етапах його транспорту та споживання до одиниці механічної роботи. Збільшення WqO_2 означає, що для виконання тієї ж роботи залучається більший потік O_2 , що свідчить про зниження ефективності використання O_2 або появу обмежень на одному з етапів O_2 каскаду. Навпаки, менші значення показника відображають більш економний режим функціонування, коли на одиницю роботи припадає менший O_2 потік, тобто вища механічна та

метаболическая эффективность. WqO_2 є чутливим до інтенсивності навантаження і до змін на рівні тканинної утилізації O_2 : низькі значення WqO_2 високій потужності роботи вказують на значний внесок анаеробного енергозабезпечення [160].

Режими масопереносу вуглекислого газу

Одним із факторів, що впливають на умови масопереносу O_2 , є накопичення CO_2 та зростання об'ємів його транспорту артеріальною та венозною кров'ю (q_aCO_2 та q_vCO_2 , л/хв). Для комплексного аналізу режимів перенесення CO_2 враховуються: загальна кількість виведеного з організму CO_2 , особливості змін КЛС; оцінка масопереносу CO_2 на різних етапах шляху в організмі, його парціального венозного, артеріального парціального тиску та у альвеолах артеріальній частині судинної системи та альвеолах (P_vCO_2 , P_aCO_2 , P_ACO_2 мм рт.ст).

PCO_2 є ключовим параметром, який відображає рівень CO_2 у крові та служить індикатором ефективності його масопереносу [30]. Зростання рівня каскаду PCO_2 у венозній крові під час м'язової діяльності свідчить про підвищену продукцію CO_2 в тканинах, а його артеріальні значення відображають здатність легенів адекватно видаляти CO_2 з організму. Під час виконання навантажень субмаксимальної інтенсивності спостерігається збільшення венозно–артеріальної різниці за CO_2 ($P_{v-a}CO_2$ мм рт.ст), що перевищує аналогічний показник за O_2 і свідчить про компенсацію метаболічного ацидозу за допомогою буферних систем.

Спеціалістами доволі детально вивчений процес масопереносу CO_2 в організмі та його впливи на різних ланках функціональної системи [38]. Аналіз режимів масопереносу CO_2 у плані моніторингу фізіологічних та функціональних показників організму під час м'язового навантаження є перспективним напрямком наукових досліджень.

Альвеолярний PCO_2 (P_ACO_2 , мм рт.ст) розглядається як чутливий інтегральний показник співвідношення між продукцією CO_2 та альвеолярною

вентиляцією, тому його динаміка відображає ефективність респіраторної компенсації метаболічного ацидозу [146].

1.2.4 Аналіз кислотно–лужного стану крові

Кислотно–лужний стан (КЛС) є одним із ключових показників гомеостазу організму, від якого залежать активність ферментів, збудливість клітинних мембран, скоротливі властивості м'язів і ефективність обміну речовин [79, 163].

На сьогодні для оцінки кислотно–лужного стану використовують три підходи [1]. Фізіологічний або традиційний підхід, започаткований *Van Slyke & Henderson* на початку 1900–х років [120], розглядає кислоти як донори іонів H^+ , а основи – як акцептори іонів H^+ . КЛС аналізується як результат взаємодії балансу іонів H^+ з буферними системами організму та оцінюється на основі буферної пари H_2CO_3/HCO_3^- .

Другий підхід, розроблений *Astrup & Andersen, 1960* [2], відомий як підхід «надлишку основ» (base excess). Надлишок основ був запропонований як показник метаболічного компонента, що замінює концентрацію плазмового HCO_3^- .

Наприкінці 1970–х років *Stewart P* запропонував третій підхід до інтерпретації КЛС, відомий як модель Стюарта, або фізико–хімічний підхід [114]. Він вимагає спеціальних діагностичних інструментів та найбільш складний зі сторони аналізу даних.

У даній роботі ми спираємось на традиційний фізіологічний підхід (*Astrup & Andersen*), що інформативним у більшості випадків, відповідає стандартам і практиці сучасних засобів тестування (за *Sanghavi & Swenson, 2023*) та має зрозумілу інтерпретацію [102]. До того ж, література 2021–2026 рр. зі спортивної фізіології орієнтується на традиційні параметри (La ммоль/л; P_{ACO_2} мм рт.ст; pH тощо), що дає змогу коректно порівнювати фізіологічні показники.

Під час контролю КЛС крові у спортсменів основними параметрами є рН та La крові, так як вони характеризують потужність та ємність анаеробного гліколітичного механізму енергозабезпечення. Але повної картини лише ці параметри не дають [18]. Однак, саме $P_A\text{CO}_2$, HCO_3^- та base excess (BE) характеризують глибинні процеси динаміки накопичення вільних іонів H^+ та компенсації спричиненого цим метаболічного ацидозу [128].

$P_A\text{CO}_2$ відображає респіраторний компонент КЛС, оскільки він прямо залежить від спроможності легень швидко та адекватно реагувати на збільшення кількості CO_2 , збільшуючи частоту та глибину дихання [102, 125]. Низка показників дозволяють значно поглибити аналіз КЛС. Лужний резерв (base excess, BE $\pm 2,4$ у стані спокою) є показником адаптаційних змін зі сторони буферних систем крові для підтримки кислотно–лужного гомеостазу (буферна ємність). Сучасні біохімічні аналізатори дають можливість також реєструвати HCO_3^- , рівень електролітів, Ca^{2+} , Mg^{2+} та ін., що створює передумови для розширення методології аналізу КЛС та подальших наукових досліджень [1].

Цікавим є поняття acid–base profile (кислотно–лужний профіль, КЛП). *Siggaard–Andersen, 1974* сформулював його як «інтегральну характеристику кислотно–лужного стану, що відображає внесок як дихальної, так і метаболічної складових» [108] КЛП є систематизоване представлення параметрів КЛС крові, що дозволяє оцінити:

- рівень рН
- вентиляційний компонент ($P_A\text{CO}_2$)
- метаболічний компонент (HCO_3^- та BE)
- внесок буферних систем (Hb, білки та фосфати)
- потужність та ємність гліколізу за La
- концентрації електролітів

Аналіз КЛП дає широкі можливості для спортивної орієнтації та відбору, враховуючи, що можливості анаеробного гліколізу, великою мірою

детермінуються генетично [19], через склад м'язових волокон, активність анаеробних ферментів та енергетичний обмін. Завдяки чому реалізується потужність анаеробного гліколізу: ємності буферних систем чи «толерантності» до La ? У спортивній практиці даний метод надає можливість корегувати тренувальні програми та відновлювальні стратегії (харчування, гідратація, дихальні техніки) для максимального ефекту та зменшення ризиків перевтоми [71, 134].

1.2.5 Характер розвитку та компенсації гіпоксії навантаження

Досягнення $\dot{V}O_2 \max$ є основним показником аеробних можливостей організму, що визначає здатність забезпечувати енергетичні потреби під час навантаження. Водночас м'язове навантаження супроводжується формуванням ЕРОС (або O_2 –боргу), який відображає розвиток гіпоксичного стану. Подальший виклад матеріалу спрямований на аналіз фізіологічних механізмів виникнення, перебігу та компенсації гіпоксії навантаження в процесі адаптації організму до м'язової діяльності.

Серед основних типів фізіологічної гіпоксії розрізняють гіпоксичну, дихальну, циркуляторну, гемічну та гіпоксію навантаження, яка має фізіологічний характер і виникає під час виконання м'язової роботи [65, 125].

Термін гіпоксія навантаження (ГН) був описаний у дослідженнях *Filippov M* [60]. У іноземній літературі він отримав назву *exercise-induced hypoxemia* (за *Dempsey & Wagner, 1999*) [23]. ГН розвивається в умовах підвищеної функціональної активності тканин і органів, коли їхня потреба в O_2 зростає, але рівень його надходження не забезпечує повного покриття метаболічного запиту,

Навіть при підвищенні постачання O_2 , парціальний тиск O_2 у тканинах знижується до критичних значень. Саме такий тип гіпоксії виникає при фізичному навантаженні у скелетних, дихальних м'язах та серцевому м'язі: КРС потребує часу, аби відреагувати на зростаючий O_2 запит. За цей час у окремих ділянках, або по всій тканині виникають гіпоксичні зони – ділянки

низького PO_2 , що обмежує можливості його утилізації [39]. Також при зниженні PO_2 змінюється і процес насичення Hb O_2 .

Залежність його насичення від PO_2 може бути показана графічно у вигляді кривої дисоціації оксигемоглобіну, або ODC (рис. 1.5). pH, температура тіла, PCO_2 тощо можуть впливати на спорідненість Hb до O_2 , спричиняючи зсув кривої праворуч (підвищена спорідненість) або ліворуч (знижена спорідненість). За допомогою кривої ODC, можливо отримати наближену величину P_aO_2 й P_vO_2 , за S_aO_2 або S_vO_2 [47].

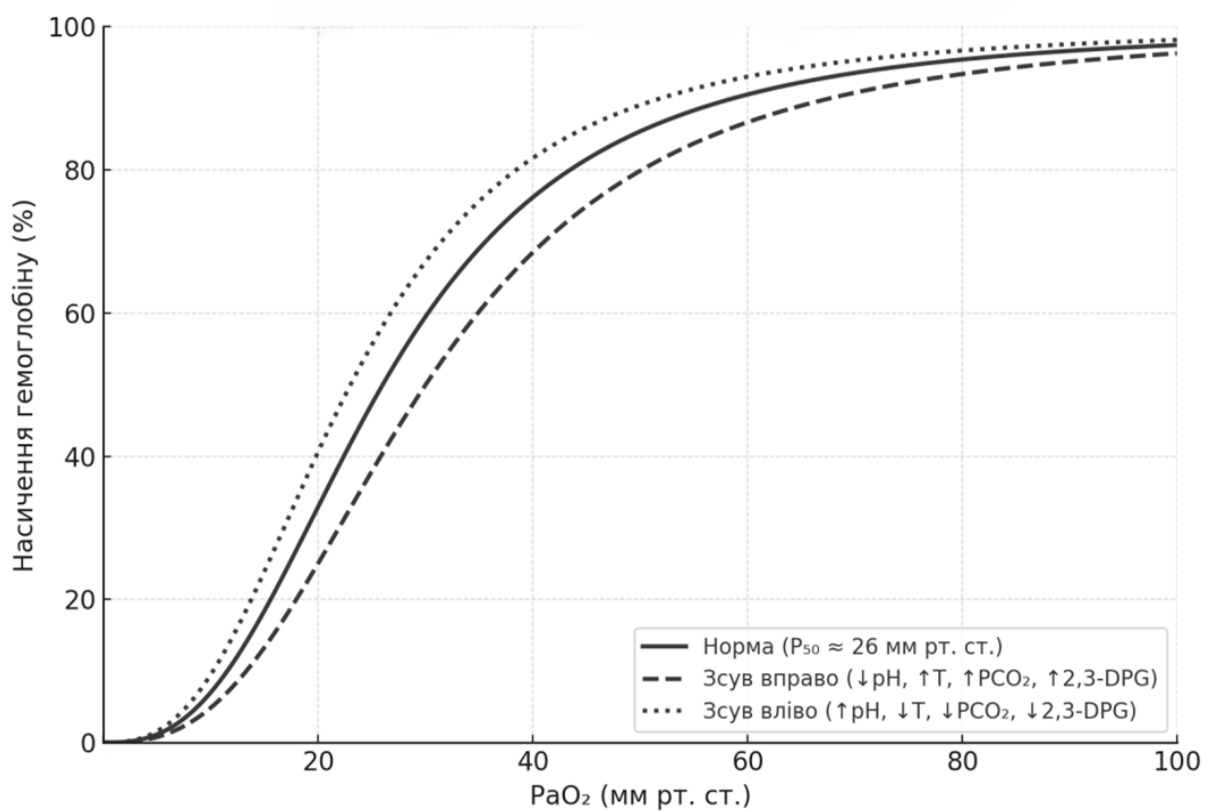


Рисунок 1.5 – Крива дисоціації оксигемоглобіну

Ключовим параметром для ODC є P_{50} , тобто таке значення PO_2 , при якому Hb насичений на 50% (SO_2 50%). Він демонструє, наскільки легко Hb віддає O_2 тканинам. S_{HbO_2} (автори виражають S – частку Hb, зв'язаного з O_2 , за насичення крові киснем – SO_2 з огляду на мінімальні розбіжності цих показників) [125] пов'язане з PO_2 через *Hill coefficient* ($n \approx 2,7$ для зрілого Hb,

при S_{HbO_2} 20–98%) – показник кооперативності зв’язування O_2 з Hb [1]. Таким чином можливо отримати P_{50} :

$$P_{50} = PO_2 \left(\frac{1 - S_aO_2}{S_aO_2} \right)^{\frac{1}{n}}$$

При фізичному навантаженні P_{50} зростає під дією рН (зміщується у кислу сторону), P_ACO_2 (зростає), температури тіла (зростає), 2,3-DPG (зростає).

Також варто зазначити, що ODC для венозної та артеріальної крові незначно відрізняються [89]. Венозна кров має більшу змінність кривої (P_{50}) у відповідь на зміни рН, PCO_2 тощо, ніж артеріальна. Це обумовлено вищим CO_2 , нижчим рН венозної крові. Артеріальна кров у більшості випадків має високоафінний статус до O_2 , і S_aO_2 змінюється менш виражено при зсуві кривої, ніж S_vO_2 .

За тим, наскільки компенсаторні механізми задовольняють кисневі витрати при фізичному навантаженні, виділяють 4 стадії ГН [39, 113]:

- I ступінь (прихована): відповідає помірному навантаженню з близьким до фізіологічного рівнем рН та La , що свідчить про мінімальну O_2 недостатність;
- II ступінь (компенсована): помірну гіпоксію при збільшенні $\dot{V}O_2$ та La , з незначним зниженням S_aO_2 та початковою активацією післянавантажувального споживання O_2 ;
- III ступінь (виражена, з поступовою декомпенсацією) характеризується вираженою ГН, високим рівнем La , зниженням рН і насичення O_2 , що вказує на прогресуючу втому і значну активацію компенсаторних механізмів;
- IV ступінь (некомпенсована) відповідає максимальному навантаженню та критичній гіпоксії, коли спостерігаються найнижчі значення S_aO_2 і S_vO_2 , високий La та значний ЕРОС, що відображає межі толерантності організму.

Спираючись на сучасні експериментальні дані [90, 125], у таблиці 1.1 пропонуються значення температури, pH, PO₂, SO₂ та P₅₀ при навантаженні різної інтенсивності у % від $\dot{V}O_{2max}$.

Таблиця 1.1 – Зміни фізіологічних параметрів, що призводять до виникнення гіпоксії навантаження

Інтенсивність навантаження	% $\dot{V}O_{2max}$	Т тіла, °C	pH		PaO ₂ – P _v O ₂ мм рт.ст.		SaO ₂ – SvO ₂ , %**		P ₅₀ , мм рт.ст.	
Спокій	10–20	36–37	7,4	7,35	95–100	40	97–99	70–80	26–27	27–28
Помірна	20–40	+0,5–1	7,4–7,35	7,35	95–100	35	96–98	75–65	27–28	28–29
Велика	50–70	+1–2	7,35–7,3	7,3–7,2	90–95	30	93–95	50–60	28–29	29–30
Субмаксимальна*	75–85	+2	7,3–7,2	7,2–7,1	85–90	25	90–92	40–50	29–30	30–31
Максимальна*	> 90	+ 2 <	7,2–7,05	7,1–6,80	< 80**	15–20	< 90	20–30	29–30	31–33

Примітка 1.* – рівень інтенсивності, який доступний для осіб, які мають високий рівень функціонального забезпечення аеробного та анаеробного метаболізму.

Примітка 2.** – артеріальна гіпоксемія, викликана фізичними вправами (exercise-induced arterial hypoxemia).

ГН виникає внаслідок активного використання O₂, і саме рівень гіпоксії, якого може досягти спортсмен під час м'язової діяльності, визначає його резервні можливості [60]. Спостерігається індивідуальна реакція на ГН, що відіграє значну роль у сучасних умовах змагальної діяльності для досягнення найвищого результату. Від реакції організму на ГН багато в чому залежить тривалість стійкого стану, можливості компенсації втоми. Виражена гіпоксія з наступаючою декомпенсацією, за даними фундаментальної праці *Monogarov I*, [83] може служити пусковим механізмом розвитку стомлення при м'язовій діяльності. Сучасні дослідження підтверджують актуальність цієї теорії [35, 68].

Численні дослідження підтверджують позитивний вплив вториннотканинної гіпоксії на аеробну продуктивність [74, 96, 162, перш за

все через підвищення концентрації HIF-1 α (фактор, індукований гіпоксією) [21, 131], який посилює експресію генів, спрямованих на адаптацію клітини до умов недостатньої кількості O₂ [107]. Це гени, що впливають на ангіогенез (VEGF), еритропоез (EPO), транспорт глюкози (GLUT-1, GLUT-4), ключові ферменти гліколізу та регулятори мітохондріального окиснення (PDK-1). Крім того, активація генів лактатного транспорту (MCT-4) і регуляції КЛС сприяє підвищенню толерантності до метаболічного ацидозу під час інтенсивного фізичного навантаження.

Комплексні дослідження гіпоксії навантаження та спортивної генетики є перспективним напрямком досліджень, оскільки дозволяє виявити молекулярні механізми адаптації організму та закласти основу для оптимізації тренувальних і відновлювальних стратегій.

1.2.6 Функціональні характеристики кардіореспіраторної системи

Аналіз різних підходів і їх узагальнення (*Feretti G та ін., 2022*) дозволив створити концепцію, в основі якої лежить оцінка функціональних властивостей систем організму, які забезпечують ефективність енергетичних процесів: потужність, ємність, економічність та реактивність [37].

Потужність анаеробного лактатного та алактатного механізмів енергозабезпечення характеризується інтенсивністю включення їх у забезпечення роботи, ємність – переважно кількістю енергетичних та буферних субстратів [137]. Вони відображаються здатністю забезпечення певного рівня масопереносу респіраторних газів і м'язового метаболізму, в результаті чого досягаються найбільш високі значення $\dot{V}O_2 \text{ max}$ та на фоні високої механічної продуктивності.

Сучасна спортивна фізіологія приділяє особливу увагу $\dot{V}_E$, оскільки їх динаміка під час фізичного навантаження відображає як потужність, так і ємність КРС [31]. Зростання метаболічного утворення CO₂ під час роботи вимагає відповідного збільшення $\dot{V}_A$, що забезпечує підтримання адекватного газового складу крові та відображає ємність системи – її здатність переносити

великі об'єми респіраторних газів без суттєвого зрушення $P_a\text{CO}_2$. Водночас негайне підвищення $\dot{V}_E$ на самому початку навантаження демонструє потужні регуляторні можливості КРС, які активувалися ще до значущих метаболічних зрушень. Це відбувається завдяки паралельній активації центрів дихання та руху в ЦНС (*Andrade D, 2025*), а також високій чутливості периферичних хеморецепторів, локалізованих у каротидних та аортальних тільцях. Їх анатомічна близькість до зони найвищого кровотоку забезпечує здатність швидко реагувати на мінімальні зміни концентрації O_2 та CO_2 крові, що підсилює потужність початкової вентиляційної відповіді [30]. У міру зростання інтенсивності навантаження $\dot{V}_A$ та $\dot{V}_E$ зростають лінійно, доки система працює в межах своєї функціональної ємності. Еквіваленти EqO_2 та EqCO_2 (відображають об'єм вентилязованого легенями повітря, що потрібен для елімінації кожного літру O_2/CO_2), а також EqP_ACO_2 , як інтегрального показника адекватності $\dot{V}_A$. Низькі значення вентиляційних еквівалентів у поєднанні зі стабільним або помірно зниженим EqP_ACO_2 , за *Wasserman et al., 2012; Whipp & Ward, 1990* свідчать про ефективний альвеолярний газообмін, оптимальні вентиляційно–перфузійні співвідношення та мінімальні вентиляційні витрати на забезпечення метаболічних потреб, тоді як їх зростання відображає зниження економічності дихальної системи [122]. EqCO_2 також характеризує ємність вентиляційної системи (здатність підтримувати газообмін при зростанні навантаження та зростанні частки не метаболічного CO_2).

Економічність функціонування КРС визначається відношенням між хвилинним кровотоком ($\dot{Q}$), частотою дихання (f), HR та W роботи до спожитого O_2 [77]. Інтегральним показником раціонального використання ресурсів КРС є гемодинамічний еквівалент (HE, л/л): під час фізичного навантаження взаємозв'язок між $\dot{Q}$ та $q_t\text{O}_2$ характеризує «вартість» доставки O_2 тканинам [138]. Ще класичні наукові дослідження підтверджують, що $\dot{Q}$ зберігає майже лінійну динаміку під час навантаження прогресуючої інтенсивності, збільшуючись у до 8–10 л/л на рівні $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ [6, 92]. Водночас,

підвищення значення показника до >12 л кровотоку на літр $\dot{V}O_2$ інтерпретується як ознака менш економної гемодинаміки і може свідчити про труднощі на етапах транспортування O_2 від легень до працюючих м'язів. Таким чином, HE є маркером економності серцево-судинної системи в діапазоні від сталого стану до максимальних навантажень. Показником, що характеризує економність роботи серця є відношення HR до $\dot{V}O_2$ (O_2HR , мл/скор), а системи зовнішнього дихання – відношення f до $\dot{V}O_2$ (O_2RC , мл/д.ц.). Вони відображають « O_2 вартість» серцевого та дихального циклів.

З точки зору функціональної діагностики, інформативним параметром, який відображає економність роботи системи енергозабезпечення, є величина HR на рівні VT1 (розділ 1.1.3). Відомо також, що чим вищою є величина VT1 ($\dot{V}O_2$, л та % від $\dot{V}O_{2max}$), тим більш тривалий час спортсмен може працювати у вигідних для нього аеробних умовах енергозабезпечення, що сприяє довшому підтриманню фізичної працездатності до появи виражених ознак стомлення [76]. Ефективність та економність КРС зростають в результаті довготривалої адаптації до м'язової роботи високої інтенсивності, а також залежать від віку, статі, функціонального стану, потужності фізичної роботи, тривалості її виконання [70].

У фізіології фізичних вправ термін реактивність часто трактується як швидкість і ефективність адаптації систем масопереносу та використання O_2 до змін навантаження [141]. Одним із методів репрезентації реактивності КРС є $\dot{V}O_2$ кінетика – динаміка розгортання функцій змін $\dot{V}O_2$ у переході від низької інтенсивності навантаження до вищої [87]. Кінетика споживання O_2 відображає здатність КРС швидко адаптувати транспорт, а працюючих м'язів – його використання, у відповідь на зміну інтенсивності фізичного навантаження. Ключовим наслідком цієї адаптації є величина EPOC, що виникає на початкових етапах роботи [92]. $\dot{V}O_2$ кінетика контролюється не лише КРС, але й внутрішньом'язовими факторами (мітохондріальною здатністю, ферментативними обмеженнями, дифузією O_2), які також не одразу в повній мірі відповідають на зростання інтенсивності навантаження, а також

мають резерв до адаптації в результаті специфічних тренувальних впливів (Inglis E *ma in.*, 2025) [53].

$\dot{V}O_2$ –кінетика зазвичай моделюється за трьома фазами [103]:

- I фаза (кардіодинамічна) – початковий короткий період, коли зростання $\dot{V}O_2$ в основному зумовлене змінами $\dot{V}_E$ та HR, ще до повної активації систем транспорту та тканинного споживання O_2 ;
- II фаза (експоненційного зростання) – фаза адаптації систем масопереносу та утилізації O_2 , де $\dot{V}O_2$ зростає за експоненційним законом до наближення рівня стабільного стану при інтенсивності навантаження $65\%\dot{V}O_{2max}$ [16];
- III фаза (повільний компонент) – поступове збільшення $\dot{V}O_2$ від $65\%\dot{V}O_{2max}$ до $\dot{V}O_{2max}$.

Кінетику $\dot{V}O_2$ цікаво аналізувати у комплексі з іншими параметрами. Таким чином можливо зрозуміти, за рахунок яких механізмів реалізується швидкість розгортання реакцій КРС, чи компенсується вона ємністю анаеробних механізмів, що є перспективним напрямком наукового пошуку.

1.2.7 Типологічні особливості спортсменів та спрямованість енергозабезпечення м'язової роботи

Типологічні особливості, що розглянуті у розділі 4, базуються на відомих у світовій практиці підходах. Усі методи детально описані у розділі 2: *Типологічні особливості спортсменів.*

Тип відповіді кардіореспіраторної системи

Узагальнення отриманих літературних даних дозволило виділити три основні типи інтегральної реакції систем масопереносу O_2 під час інтенсивного фізичного навантаження: кардіальний, вентиляційний та комбінований [66, 77]

Кожен із них характеризується специфічним співвідношенням між вентиляційними, дифузійними та кардіальними параметрами [143].

Кардіальний тип відзначається підвищенням показників $\dot{Q}$, SV та HR при відносно помірних рівнях $\dot{V}_E$ та $\dot{V}_A$. Така реакція свідчить про домінуючу роль серцево–судинної системи в забезпеченні доставки O_2 до тканин. Проте, при такій моделі можливо спостерігати менший резерв газообмінної ефективності, що потенційно обмежує дифузію O_2 у легенях на пікових навантаженнях. Це може бути характерно для спортсменів із високим серцевим викидом, але менш розвиненою вентиляційною або дифузійною ланкою.

Для вентиляційного типу характерні високі показники $\dot{V}_E$, $\dot{V}_A$ та дихального об'єму (V_t , л) при одночасно низьких значеннях дифузійної здатності легень до O_2 (D_{LO_2} , мл/мм рт.ст). Він характеризується переважанням вентиляційної відповіді над гемодинамічною, що свідчить про дихальну компенсацію, яка випереджає ефективність серцево–судинної системи. При максимізації швидкості дихання може спостерігатися зменшення його ефективності (зростання $\dot{V}_E$ без пропорційного покращення $\dot{V}_A$).

Комбінований тип характеризує узгоджене підвищення $\dot{V}_E$, $\dot{V}_A$, HR та $\dot{Q}$. Свідчить про оптимальну взаємодію дихальної, газообмінної та серцево–судинної систем. У цьому випадку всі ланки системи масопереносу O_2 функціонують синхронно, забезпечуючи ефективну V_E , адекватний $\dot{Q}$ і стабільний рівень дифузії. Подібна реакція є ознакою високого аеробного потенціалу та збалансованої регуляції фізіологічних систем..

Реактивність кардіореспіраторної системи

Природні задатки спортсменів, разом із специфічністю режимів тренувальних навантажень, формують структуру та швидкість відповіді систем масопереносу та утилізації O_2 . Реактивність КРС визначається за параметрами $\dot{V}O_2$ –кінетики, і характеризується як гіпо–, гіпер– та нормореактивний тип [26, 53, 87, 92].

При гіпореактивності система повільно нарощує $\dot{V}O_2$, що вказує на обмежену здатність швидко задіювати аеробний резерв; при нормореактивності $\dot{V}O_2$ –відповідь відповідає середнім показникам тренуваної

групи, демонструючи адекватну швидкість та амплітуду реакції; у разі гіперреактивності $\dot{V}O_2$ -кінетика швидка та потужна, що відображає високу реактивність КРС до змін навантаження. Метод визначення реактивності КРС шляхом аналізу параметрів VO_2 -кінетики було апробовано у авторських дослідженнях [28, 139, 141].

Кисотно–лужний профіль спортсмена

В якості інтегрального методу оцінки КЛС спортсменів запропонований авторський підхід формування кислотно–лужного профілю (КЛП), який дозволяє характеризувати потужність та ємність анаеробного гліколітичного механізму енергозабезпечення, виявити характер компенсації метаболічного ацидозу та виявити межі й резервні можливості для зростання ефективності анаеробного гліколізу [141, 159].

На основі параметрів pH , La та P_{ACO_2} сформовано індивідуальний кислотно–лужний профіль спортсмена (КЛП). На формування профілю впливають домінуючий тип ацидозу (метаболічний), його глибина, механізм компенсації (буферний, респіраторний або змішаний), компенсаторні можливості, рівень толерантності до ацидозу за умов реалізації функціональних ресурсів на межі можливостей.

Вираженість метаболічного ацидозу оцінюється за зростанням La , тоді як pH є інтегральною величиною взаємодії гліколітичних механізмів та компенсаторних систем [106], P_{ACO_2} дозволяє розрізнити респіраторний внесок у компенсацію КЛС.

Аналіз сучасних праць також підтверджує важливість впровадження методу КЛП у науково–педагогічну практику з метою оцінки адаптаційних реакцій організму під впливом фізичних навантажень, що відображено в дослідженнях динаміки показників КЛС крові у фізіології та біохімії м'язової діяльності [135].

Характеристики розвитку та компенсації гіпоксії навантаження

Для оцінки індивідуальних особливостей формування ГН спортсменів застосовували комплексний метод, що включає аналіз динаміки $\dot{V}O_2$, La , pH ,

P_vO_2 , S_aO_2 , S_vO_2 . На його основі визначали ступінь ГН, переважаючий тип компенсації (легеневий, комбінований, тканинний), рівень толерантності до ГН (високий, оптимальний, низький) та тип реакції на граничне навантаження (стабільний, нестабільний, метаболічний) [35, 60, 145]. Такий підхід підвищує чутливість діагностики гіпоксичних станів, що виникають під час м'язового навантаження та обґрунтовує індивідуалізацію тренувально-відновних впливів.

Схильність до «спринтерської» або «стаєрської» роботи

Навіть у рамках однієї спеціалізації деякі спортсмени можуть демонструвати схильність до більш інтенсивної, але короткотривалої м'язової роботи, тоді як інші здатні більш ефективно підтримувати роботу меншої інтенсивності, але тривалий час [28, 96]. Багато в чому індивідуальні особливості реакцій КРС на фізичне навантаження визначаються внутрішніми фізіологічними факторами, а також значною мірою обумовлені генетично [19]. Це створює умови для суттєвих міжіндивідуальних відмінностей у характері розгортання роботи КРС, потужності та ємності систем аеробного та анаеробного енергозабезпечення у спортсменів.

Спортсменів умовно поділяють на групи з переважною схильністю до швидкісної або тривалої роботи: «спринтери», «стаєри», а також комбінований тип, яка відповідає характеристикам обох груп [10, 12, 26], і є найбільш сприятливим варіантом для прояву функціональних можливостей.

До групи «спринтерів» відносили спортсменів, у яких домінувала висока потужність анаеробного енергозабезпечення, що забезпечує реалізацію швидко-силових можливостей за умов короткотривалих навантажень високої інтенсивності. Для цієї групи характерна швидка мобілізація анаеробних механізмів з вираженим зростанням метаболічного ацидозу та короткочасною, але інтенсивною реалізацією працездатності. Група «стаєрів»: спортсмени з переважанням високої ємності анаеробного гліколітичного енергозабезпечення та здатністю до його тривалої реалізації в умовах поступового зростання навантаження під час модуляції навантаження. Такий

тип енергетичної організації сприяє підтриманню стабільної роботи м'язів, формуванню спеціальної витривалості та ефективній адаптації до тривалих навантажень субмаксимальної і високої інтенсивності. Для комбінованого типу характерна реалізація високої анаеробної гліколітичної потужності та ємності при гіпер– чи нормо–реактивності. У таких спортсменів анаеробний потенціал проявляється як у здатності швидко мобілізувати енергетичні ресурси на високих інтенсивностях, так і у відносно тривалому їх використанні за умов прогресуючого навантаження. Це супроводжується комбінованими механізмами компенсації метаболічного ацидозу (буферними та респіраторними), що відображає універсальний характер адаптації до широкого діапазону навантажень.

Даний підхід широко застосовується у *Mishchenko V* та його послідовників [26, 118], та впроваджений у світову практику функціонального тестування [25, 61].

1.3 Моніторинг як інструмент комплексного наукового дослідження

Моніторинг у сучасних біологічних та спортивно–фізіологічних дослідженнях виступає ключовим інструментом для отримання об'єктивної та динамічної інформації про функціонування досліджуваної системи. На відміну від разових вимірювань, які відображають лише стан у фіксований момент, моніторинг дає змогу відстежувати послідовні зміни, виявляти адаптаційні реакції та оцінювати ефективність тренувального впливу чи модульованого навантаження [129].

У контексті даної дисертаційної роботи моніторинг застосовано як методологічну основу для комплексного вивчення фізіологічних і функціональних параметрів спортсменів під час поетапного тестування. Поєднання фізіологічного моніторингу (реєстрація, розрахунок, аналіз біометричних показників) [123] з функціональним моніторингом (економічність, потужність, ємність, реактивність систем, що забезпечують

інтенсивну м'язову діяльність) дозволяє не лише фіксувати зміни, а й інтерпретувати їх як прояви адаптації або функціонального виснаження. Такий підхід відповідає сучасним практикам контролю навантаження у спорті [54, 58, 73].

Особливістю проведеного дослідження є паралельне використання групового та індивідуального моніторингу. Груповий моніторинг дає можливість виявляти середньогрупові тенденції, типові адаптаційні моделі та статистично значущі зрушення, що важливо для формування узагальнених висновків. Натомість індивідуальний моніторинг дозволяє розкрити міжособистісну варіабельність реакцій, сформувати індивідуальні профілі толерантності до навантажень та підвищити точність інтерпретації результатів [44, 45]. Це узгоджується з підходом *Impellizzeri та співавт., 2023*, які додатково досліджують феномен «internal load» – суб'єктивного навантаження, що відображає відчуття складності виконання роботи та ступінь подолання втоми [52].

Критично важливими принципами моніторингу є валідні та репрезентативні маркери; структуровані системи збору та візуалізації даних; статистичні підходи до аналізу змін [73].

Отже, у рамках цього дослідження моніторинг виступає не лише засобом реєстрації фізіологічних параметрів, а методичною платформою, що дозволяє отримувати багатовимірні дані та формувати обґрунтовані висновки щодо змін функціонального стану спортсменів. Саме такий підхід надає можливість виявити індивідуальні й групові закономірності адаптаційних процесів, що супроводжують високоінтенсивні м'язові навантаження [146].

Висновки до розділу 1

Регулярна м'язова робота високої інтенсивності призводить до значних адаптаційних змін функціональних систем організму: нервово-гуморальної регуляції, активного ресинтезу макроергічних молекул, пристосуванню КРС до умов дефіциту O_2 , виведенню із м'язів та нейтралізації продуктів обміну

[26]. Для оцінки функціональних можливостей організму недостатньо розглядати лише окремі фізіологічні параметри. Саме тому, у даній роботі сформована система методичних підходів і засобів інтерпретації отриманих даних [28, 158] що дозволяє охопити складність та багатогранність функціонального забезпечення при різній інтенсивності навантаження, дає можливість оцінки ступеню втоми тощо, спиратись не лише на кількісні характеристики ($\dot{V}O_2$, La та ін.), а і завдяки чому вони реалізуються, виявити сильні та слабкі сторони кожного окремого спортсмена.

Матеріали першого розділу опубліковані у наукових працях автора [28, 142, 143, 146, 147, 153, 158, 159].

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

У дисертаційному дослідженні були обрані методичні підходи, що дозволили детально дослідити та виявити фізіологічні характеристики функціональних систем організму у спортсменів високої кваліфікації під час модуляції певних фізіологічних та функціональних станів [35].

2.1 Методи дослідження

Наукові і науково–методичні джерела вивчені на основі аналізу наукометричних баз даних Національного центру біотехнологічної інформації (NCBI, Меріленд, США), Google Scholar, Scopus, Web of Science, репозиторії бібліотеки Національного університету фізичного виховання і спорту України.

Проаналізовано 164 джерел літератури, з них 134 іноземних. Акценти зроблені на вивченні сучасного стану питання функціонального забезпечення працездатності спортсменів в умовах напруженої рухової діяльності. Особливу увагу приділено впливу гіпоксії та гіперкапнії навантаження, лактат–ацидозу на структуру реакції кардіореспіраторної системи (КРС) і енергопостачання. Детально розглянуті питання РМК і киснезв’язувальної функції крові, в умовах навантаження різної інтенсивності, тривалості і фізіологічного напруження.

2.1.1 Фізіологічні методи

Обладнання: Газоаналізатор Oxycon mobile Pro (VIASYS Healthcare, Німеччина, Erich Jaeger); HR аналізатор Polar T34 (Фінляндія); лабораторний комплекс «Biosen S. line lab+»; оксигемометр Biomed BM1000A; тонометр Omron M7 Intelli Afib; ергометр ErgRowing Concept 2.

Проведено дослідження систем і киснево–транспортних і енергетичних функціональних механізмів забезпечення напруженої рухової діяльності спортсменів.

Дослідження серцево–судинної системи

В таблиці 2.1 представлено обладнання і показники для проведення спірометрії, газоаналізу, ергометрії, дослідження серцево–судинної системи, біохімії крові.

Таблиця 2.1 – Обладнання для проведення спірометрії, газоаналізу, показники для дослідження серцево–судинної системи, біохімії крові

Методи	Показники
Газоаналізатор	$\dot{V}O_2$, л; $\dot{V}CO_2$, л; V_E , л/хв; V_A , л/хв; f , д. ц./хв
Тахометрія	HR, уд/хв
Аналіз біохімії крові	La, ммоль/л; pH, од. pH
Артеріальна сатурація	S_aO_2 , об.%
Виміри систолічного і діастолічного тиску	S_p , мм рт.ст.; D_p , мм рт.ст.
Модуляція працездатності, ергометрична потужність навантаження	W Test 30, W 65% $\dot{V}O_{2max}$, W 85% $\dot{V}O_{2max}$, W $\dot{V}O_{2max}$, W CP $\dot{V}O_2$

Дослідження серцево–судинної системи та газообміну

У таблиці 2.2 представлені формули, що дозволяють охарактеризувати роботу серцево–судинної системи (хвилинний кровотік $\dot{Q}$, л; систолічний викид SV, мл), газообмін (RER та F_{EO_2} , об.%),

Таблиця 2.2 – Розрахункові показники, що характеризують газообмін та гемодинаміку

Показник	Розрахункова формула	Одиниці виміру
SV	$101 + \frac{(S_p - D_p)}{2 - 0,59D_p - 0,61 \times \text{age}}$	мл
$\dot{Q}$	$\frac{Q \times HR}{\frac{q_t O_2}{C_{(a-v)} O_2}}$	мл/хв
RER	$\frac{VCO_2}{VO_2}$	—
FEO ₂	$F_I O_2 - \frac{VO_2}{VE} \times 100\%$	об.%
DLO ₂	$\frac{q_t O_2}{P_A O_2 - P_a O_2}$	мл/мм рт.ст.

Дослідження кисневозв'язувальних властивостей крові

Розрахункові характеристики киснево–транспортної функції крові представлено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахункові показники киснезв'язувальної функції крові*

Показник	Розрахункова формула	Одиниці виміру
$C_{\max} O_2$	$Hb \times 1,34$	об.%
$C_a O_2$	$C_{\max} O_2 \times S_a O_2$	
$C_v O_2$	$\frac{q_v O_2}{\dot{Q}}; C_a O_2 - C_{a-v} O_2$	
$C_{a-v} O$	$\frac{q_t O_2}{Q}$	
$S_v O_2$	$\frac{C_v O_2}{C_{\max} O_2}; S_a O_2 - \frac{VO_2}{Q \times C_{\max} O_2}$	%

Примітка. * – показники Hb г.% надані лікарем команди із медичних карток спортсменів.

Режими масопереносу кисню. Аналіз РМК відбувається з урахуванням наступних блоків параметрів: каскаду лінійних швидкостей транспорту O₂, парціальних тисків O₂, екстракції O₂, а також ефективності та інтенсивності його масопереносу (табл 2.4).

Таблиця 2.4 – Розрахункові показники, що характеризують режими масопереносу респіраторних газів*

Показник	Розрахункова формула	Одиниці виміру
	Об'ємні швидкості масопереносу кисню	
q _i O ₂	F _I O ₂ × V _E *	л/хв
q _A O ₂	F _I O ₂ × V _A	
q _a O ₂	Q̇ × C _a O ₂	
q _t O ₂	Q̇ × C _{a-v} O ₂	
q _v O ₂	Q̇ × C _v O ₂	
	Парціальні тиски кисню	
P _I O ₂	F _I O ₂ × P _{B-H₂O}	мм рт.ст.
P _A O ₂	P _I O ₂ − $\frac{P_A CO_2}{RER}$	
P _a O ₂	P ₅₀ × $\frac{S_a O_2^{\frac{1}{n}}}{1-S_a O_2}$ **	
P _v O ₂	P ₅₀ × $\frac{S_v O_2^{\frac{1}{n}}}{1-S_v O_2}$	
P _A CO ₂	$\frac{VCO_2 \times k}{V_A}$	
P _a CO ₂	P _a CO ₂ ≈ P _A CO ₂	
Ефективність масопереносу кисню		
Ef qO ₂	$\frac{q}{q_t} O_2$	%
KUL O ₂	$\frac{F_{I-A}}{F_I} O_2$	%
O ₂ ERL	$\frac{P_{A-a}}{P_A} O_2$	%
O ₂ ERt	$\frac{F_{I-A}}{F_I} O_2$	%
Киснева вартість роботи		
WqO ₂	$\frac{qO_2}{W_{ex}}$	мл/W
Інтенсивність переміщення кисню		
Int qO ₂	$\frac{qO_2}{m}$	мл/кг

Примітка 1.* – Розрахунок газообмінних параметрів здійснювався з приведенням об'ємів газів до стандартних умов (STPD: P_B 760 мм рт.ст. ; P_{H_2O} 47 мм. рт. ст., $F_i O_2$ 0,21 об.%).

Примітка 2.* – $k = 0,863$ коефіцієнт переводу між об'ємом газу (л) і парціальним тиском (мм рт.ст.), для STPD.

Примітка 3.** – P_{50} розраховується графічним методом за зміщенням; $n = 2,7$ (Hill).

$P_a O_2$ та $P_v O_2$ визначали розрахунково шляхом інтерполяції на кривій дисоціації оксигемоглобіну точки $P50$ (PO_2 , за якого сатурація Hb становить

50%) відповідно до значень S_aO_2 та S_vO_2 з урахуванням рН, температури та P_{ACO_2} .

Ефективність масопереносу O_2 оцінювалася шляхом аналізу комплексних показників $Ef\ qO_2$ %, які відображають послідовні етапи його масопереносу [6] від легенево–альвеолярного надходження до тканинної утилізації та венозного повернення. WqO_2 мл/В відображає кількість транспортованого O_2 на одиницю механічної потужності роботи, $Int\ qO_2$ характеризує питому об'ємну швидкість транспорту O_2 на різних етапах модуляції навантаження.

Функціональні параметри кардіореспіраторної системи

Оцінку економічності та ефективності КРС проведено за показниками показники HE , O_2HR , O_2RC . Вони характеризують « O_2 вартість» роботи дихальної, серцево–судинної систем; внесок окремого серцевого та дихального циклу; кількості O_2 , потрібного для виконання механічної роботи. Ефективність системи зовнішнього дихання досліджувалась на основі аналізу еквівалентів E_q за O_2 , CO_2 та P_{ACO_2} (V_E/VO_2 ; V_E/VCO_2 ; $V_E P_{ACO_2}$). Дані показники використовувалися як інтегральні індикатори відповідності між вентиляційною відповіддю, метаболічним запитом і газообмінною продуктивністю легень при м'язовому навантаженні різної інтенсивності [122]. Показники економічності та ефективності КРС представлені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахункові параметри економічності та ефективності кардіо–респіраторної системи

Показник	Розрахункова формула	Одиниці виміру
HE	$\frac{Q}{q_t O_2}$	л/л
O_2HR	$\frac{VO_2}{HR}$	мл/скор.
O_2RC	$\frac{VO_2}{f}$	мл/д.ц.

Продовження таблиці 2.5

$EqCO_2$	$\frac{V_E}{VCO_2}$	л/л
EqO_2	$\frac{V_E}{VO_2}$	
$EqPaCO_2$	$\frac{V_E}{P_aCO_2}$	
$EqO_2 \frac{SSt}{CP}$	Зміна ефективності функціонального забезпечення в умовах наростання втоми	%
$EqCO_2 \frac{SSt}{CP}$		
$VO_2 \frac{SSt}{CP}$		

Дослідження ефективності функціонального забезпечення енергетичної потужності в умовах наростання фізіологічного навантаження та компенсації втоми характеризувалось ступенем збільшення показників $EqVO_2$, $EqCO_2$ та VO_2 .

Типологічні особливості спортсменів

Типологічні особливості розглядаються як один із підходів до інтерпретації даних моніторингу, що дозволяє описати структуру адаптаційних реакцій організму при інтенсивному навантаженні та виявити провідні ланки, які обмежують або компенсують працездатність. Детально формування типологічних особливостей розглядається у підрозділі 1.2.7.

Тип відповіді кардіо-респіраторної системи. У таблиці 2.6 представлений алгоритм визначення типу інтегральної відповіді систем транспорту O_2 . Окрім домінуючої ланки у забезпеченні qO_2 під час інтенсивної м'язової діяльності даний метод дає можливість охарактеризувати адаптацію дихальної та серцево-судинної за рядом параметрів.

Таблиця 2.6 – Визначення типу відповіді кардіореспіраторної системи

	Кардіальний	Вентиляційний	Комбінований
$\dot{V}_E$	Помірне зростання	Виразене зростання	Пропорційне зростання
$\dot{V}_A$	Помірна	Висока	Висока, адекватна $\dot{V}_E$
$\frac{\dot{V}_E}{\dot{V}_A}$	Оптимальне	Підвищене	Оптимальне
V_t	Без істотних змін	Підвищення	Підвищення
f	Пропорційне контрольоване зростання: економічний тип адаптації Сильне зростання: не економічний тип адаптації Недостатнє зростання: втома, поганий функціональний стан		
D_{LO_2}	Стабільна або знижена	Висока	Стабільна або висока
$\dot{Q}$	Значно підвищений	Помірний	Підвищений
SV	Пропорційне контрольоване зростання: економічний тип адаптації Сильне зростання: не економічний тип адаптації (ризик хронічної втоми) Недостатнє зростання: хронічна втома, поганий функціональний стан		
HR	Висока	Помірна	Висока
<i>Домінуюча ланка</i>	Серцево–судинна	Дихальна	Узгоджена робота систем
<i>Економічність адаптації</i>	Висока/низька		Висока
<i>Механізм адаптації</i>	Гемодинамічна компенсація	Дихальна компенсація	Системна інтеграція
<i>Потенційні обмеження</i>	На рівні екстракції O_2 тканинами	Неекономічна вентиляція	Мінімальні

Кардіальний тип визначається при вираженому зростанні HR та $\dot{Q}$ за помірного збільшення $\dot{V}_E$ і $\dot{V}_A$ та відсутності пропорційного підвищення D_{LO_2} , що свідчить про домінування гемодинамічної ланки при обмеженому дифузійному резерві. Вентиляційний тип характеризується значним збільшенням $\dot{V}_E$, $\dot{V}_A$ та V_t за помірного приросту HR і $\dot{Q}$ та низьких або знижених значень D_{LO_2} , що відображає дихальну компенсацію без ефективного посилення газообміну. Комбінований тип характеризувався узгодженим підвищенням $\dot{V}_E$, $\dot{V}_A$, HR і $\dot{Q}$ разом зі стабільним або зростаючим D_{LO_2} , що відображає синхронну взаємодію вентиляційної, дифузійної та серцево–судинної ланок.

Реактивність кардіореспіраторної системи. Комплексний аналіз параметрів $\dot{V}O_2$ –кінетики, що представлені та описані у таблиці 2.7 дозволяє характеризувати КРС (табл 2.7) як нормо- гіпо- та гіперреактивну.

Таблиця 2.7 – Параметри, що характеризують кінетику споживання кисню

Показник	Опис показника	Фізіологічне значення	Одиниці виміру
TD_{O_2}	Затримка активного приросту $\dot{V}O_2$ (time delay O_2)	Відображає час затримки активної адаптації КРС до O_2 запиту, що зростає	хв
τ_{O_2} (tau)	Різниця між TD_{O_2} та $T_{65\% \dot{V}O_2}$	Відображає час експоненційного зростання $\dot{V}O_2$	
$T_{65\% \dot{V}O_2}$	Загальний час від початку роботи до досягнення $65\% \dot{V}O_{2max}$	Відображає швидкість досягнення КРС максимально ефективного стану	
$T_{max \dot{V}O_2}$	Загальний час від початку роботи до досягнення $\dot{V}O_{2max}$	Відображає час, який КРС може достатньо задовольняти метаболічні потреби у O_2	
$\Delta \dot{V}O_2$	Амплітуда приросту $\dot{V}O_2$ за час τ_{O_2}	Характеризує величину приросту $\dot{V}O_2$ у перехідному періоді	л
$\dot{V}O_2 \frac{\Delta}{max}$	Частка $\Delta \dot{V}O_2$ від $\dot{V}O_{2max}$	Характеризує частку $\dot{V}O_2$ що залучається на ранніх етапах навантаження	%

Кисотно-лужний профіль. Аналіз КЛС під час модуляції навантаження здійснювали на основі комплексної оцінки $P_A CO_2$ мм рт.ст., концентрації La крові (ммоль/л) та рН. Характер гомеостатичних зрушень визначали за напрямком змін рН та La , що дозволяло ідентифікувати метаболічний компонент ацидозу, а за величиною $P_A CO_2$ – ступінь респіраторної компенсації [57] (табл. 2.8):

Таблиця 2.8 – Параметри, що формують кислотно–лужний профіль

Показники	Критерії аналізу	Фізіологічна інтерпретація
Метаболічний компонент		
La Test 30	Анаеробна гліколітична потужність	Характеризують інтенсивність анаеробного гліколітичного механізму енергозабезпечення
La $\dot{V}O_2$ max	Резистентність до La, анаеробна витривалість	
La CP	Максимальна анаеробна гліколітична ємність	
Співвідношення анаеробної потужності та ємності		
La $\frac{\text{Test 30}}{\text{CP}}$	> 40% висока гліколітична потужність	Частка гліколітичної потужності від гліколітичної ємності
	30–40% збалансований тип	
	< 30% переважання гліколітичної ємності	
Лактатний резерв		
La $\frac{VO_2 \text{ max}}{\text{CP}}$	Вищі значення – більший анаеробний гліколітичний резерв	Резерв гліколітичного механізму (високий, помірний, низький)
Ступінь та толерантність до ацидозу		
Δ pH та La	помірний: незначне зниження pH (<0,15) при помірному зростанні La	Легкий метаболічний ацидоз із ефективною компенсацією
	виражений: істотне зниження pH (0,15–0,25) на фоні високого La	Буферна система утримує pH майже на рівні норми при високій потужності
	глибокий: різке зниження pH (0,25 <) при максимальному La	Досягнення межі компенсації метаболічного ацидозу
Респіраторна компенсація		
P_{ACO_2}	За нормальної відповіді P_{ACO_2} залишається відносно стабільним; може знижуватися при гіпервентиляції або зростати при недостатньому видаленні CO_2	Відображає, наскільки ефективно легені видаляють CO_2 . Характеризує ефективність вентиляційної відповіді
Тип механізму компенсації		
Усі показники	Буферний / респіраторний / змішаний	Визначає домінуючий шлях стабілізації КЛС

Характер розвитку та компенсації гіпоксії навантаження. Методи визначення ступенів ГН під час модуляції фізичного навантаження дозволяють оцінити здатність організму підтримувати O_2 баланс при роботі різної інтенсивності. Представлений підхід до оцінки різних ступенів ГН дозволяє визначити межі толерантності до навантаження, характер адаптаційних реакцій та ефективність компенсаторних механізмів.

Таблиця 2.9 відображає чотири ступені ГН, визначені за комплексом метаболічних та гемодинамічних показників під час фізичного навантаження. До них належать: $\dot{V}O_2$ (% від $\dot{V}O_{2max}$), концентрація La та рН крові, P_vO_2 , S_aO_2 та S_vO_2 . Також на основі даних цієї таблиці можливо оцінити обсяг ЕРОС.

Таблиця 2.9 – Характеристика ступенів гіпоксії навантаження

		I	II	III	IV
$\dot{V}O_2$	% $\dot{V}O_{2max}$	< 15	15 – 65	65 – 85	85 <
La	ммоль/л	1 – 2	2 – 4	5 – 10	< 18
pH	од рН	7,4	7,4 – 7,3	7,3 – 7,2	7,2 >
P_vO_2	мм рт.ст.	33 – 27	26 – 24	23 – 21	20 >
S_aO_2	%	96 – 95	94 – 93	92 – 89	88 >
S_vO_2	%	62 – 55	54 – 30	29 – 21	20 >
ЕРОС	% $\dot{V}O_2$	0	3 – 5	5 – 20	20 <

Для оцінки індивідуальних особливостей розвитку та компенсації ГН було використано комплексний аналіз $\dot{V}O_2$, La, рН, P_vO_2 , S_aO_2 , S_vO_2 та величину ЕРОС (табл. 2.10):

Таблиця 2.10 – Параметри, що визначають індивідуальний характер розвитку та компенсації гіпоксії навантаження

Варіанти	Критерії визначення	Варіанти
Ступінь гіпоксії навантаження	I, II, III, IV	Ступінь гіпоксії навантаження
Обмежувальна ланка	Тканинна	Обмежувальна ланка
	Комбінована	
	Легенева	
Толерантність до гіпоксії	Висока	Толерантність до гіпоксії
	Помірна	

Схильність до певного типу м'язової роботи. Враховуючи особливості функціонального забезпечення аеробної, анаеробної енергопродукції та компенсації втоми у дослідженні був застосований підхід до класифікації спортсменів за схильністю до певної м'язової роботи: «спринтерської»,

«стаєрської» або комбінованої. Він формується у останню чергу, на основі типу відповіді КРС на навантаження, реактивності та КЛП (таблиця 2.11):

Таблиця 2.11 – Метод формування індивідуальну схильність до певної м'язової роботи

Типологічні характеристики		Фізіологічний зміст
Спринтерська	Кислотно–лужний профіль	Переважає анаеробна потужність, середній або низький La резерв Ефективна респіраторна компенсація, може бути обмежена при інтенсивних навантаженнях Висока, середня або низька толерантність до метаболічного ацидозу
	Реактивність КРС	Гіпер–реактивний тип: швидка адаптація РМК до інтенсивного навантаження та істотний об'єм $\Delta \dot{V}O_2$
	Тип відповіді КРС	Вентиляційний: виражена активація V_E та V_A для виведення надлишку CO_2
Стаєрська	Кислотно–лужний профіль	Переважає анаеробна ємність, великий La резерв Ефективна респіраторна компенсація Високий рівень толерантності до метаболічного ацидозу
	Реактивність КРС	Гіпо/нормо–реактивний тип: повільна або оптимальна адаптація РМК до інтенсивного навантаження
	Тип відповіді КРС	Кардіальний: виражена активація $\dot{Q}$ для посилення доставки O_2
Комбінована	Кислотно–лужний профіль	Збалансоване співвідношення потужності та ємності, середній або великий La резерв Адекватна респіраторна компенсація Високий або середній рівень толерантності до метаболічного ацидозу
	Реактивність КРС	Нормо–реактивний тип
	Тип відповіді КРС	Змішаний: лінійне підвищення показників вентиляційних та серцево–судинних показників

2.1.2 Ергометричні методи

Методологія ергометричного контролю спеціальної працездатності ґрунтуються на фундаментальних працях *Driller M at al 2013; Tanner & Gore 2012* [34, 115]. Методика тестування ґрунтується на протоколі реєстрації $\dot{V}O_{2max}$ [136] і модуляції $\dot{V}O_2$ CP в проведенні досліджень, присвячених

комплексній оцінці структури функціональних можливостей спортсменів високої кваліфікації у веслуванні академічному [144].

Дослідження проведені за допомогою веслувального тренажеру ErgRowing Concept II. Комплексне тестування включало три тести.

1. Тест 30 секунд із максимальною потужністю. Виконання тесту 30 секунд сприяло реалізації анаеробної гліколітичної потужності та було стимулом до розгортання роботи КРС [91]. Проведено оцінку анаеробної потужності

Період відновлення 5 хв

2. Степ-тест. Ергометричне навантаження першої сходинки (W) розраховувалось індивідуально 1,8 Вт на кг маси тіла. Збільшення навантаження на кожній сходинці + 30 Вт. Тривалість роботи на сходинці 2 хвилини. Роботу виконано до умовної відмови – неспроможності підтримувати задані параметри.

Період відновлення 1 хвилина.

3. Навантаження «критичної» потужності (CP). Тривалість навантаження 2 хвилини. Формування CP відбувалось відповідно ергометричній потужності протягом якої спортсмени досягли $\dot{V}O_{2max}$ [144].

У тексті етапи моніторингу носять наступні назви:

1. Test 30 («коротке максимальне навантаження»)
2. Test 30Rec («Recovery», відновлення після Test 30)
3. 65% $\dot{V}O_{2max}$ («навантаження великої інтенсивності»)
4. 85% $\dot{V}O_{2max}$ («навантаження субмаксимальної інтенсивності»)
5. $\dot{V}O_{2max}$ («навантаження $\dot{V}O_{2max}$ », «пікове навантаження»)
6. CP $\dot{V}O_2$ («критична потужність», «граничне навантаження»)

Протягом періоду виконання навантажень в режимі реального часу проведено реєстрацію показників споживання кисню ($\dot{V}O_2$), видаленню вуглекислоти ($\dot{V}CO_2$), легеневої вентиляції ($\dot{V}_E$), інших характеристик серцево-судинної і дихальної системи. Забір крові для визначення

концентрації лактату крові проведено на 5 хвилині періоду відновлення після тесту 30 с та СР та одразу після степ–тесту. Розрахункові характеристики реакції КРС і енергозабезпечення представлені вище.

Після закінчення комплексного тестування вимірювали рівень HR за критерієм відновлення 120 скор/хв протягом 5 хвилин. Визначили динаміку відновлення КРС.

Згідно протоколу реєстрації $\dot{V}O_{2max}$ і СР здійснено поетапний моніторинг змін фізіологічного і функціонального стану спортсменів. Визначено провідні механізми, які впливають ефективність функціонального забезпечення працездатності спортсменів в умовах аеробно – анаеробного переходу (АТ), реалізації аеробної потужності ($\dot{V}O_{2max}$), мобілізації аеробного і анаеробного енергозабезпечення, компенсації втоми (СР). Тест СР $\dot{V}O_2$ відбувався на фоні виснаження енергетичних субстратів, втоми скелетних та дихальних м'язів, метаболічного ацидозу тощо. Це дозволило охарактеризувати резервні можливості фізіологічних систем та спроможність підтримувати високу ефективність роботи під час втоми.

2.1.3 Методи математичної статистики

Експериментальні дані були опрацьовані за допомогою методів математичної статистики із використанням комп'ютерних програм *Statistica-1*, *MS Excel – 2010*. Статистична обробка даних проведена за методом квантилів. Аналіз результатів статистичної обробки даних здійснено на підставі визначення і інтерпретації розподілу на рівні нормативних (діапазон $\dot{Q}1$ (25 %) і $\dot{Q}3$ (75 %), аб IQR) і граничних значень показників (min, max) [43, 160]. Такий підхід дозволяє не лише описувати загальну тенденцію, а й структурувати вибірку за рівнями прояву показників (низький, середній, високий), що є принципово важливим у спорті вищих досягнень із вираженою індивідуальною варіабельністю [13, 116]. Непараметричні методи статистики не потребують жорстких припущень щодо форми розподілу даних, зокрема

нормального, що обґрунтовує їх застосування у випадках асиметричних або гетерогенних вибірок [98, 124, 132, 160].

2.1.4 Формалізована оцінка фізіологічних і ергометричних показників працездатності спортсменів

Систематизацію результатів дослідження проведено за методом квартильного стандартизованого оцінювання (Quartile-Standardized Grading Method, QSGM): методу, який ґрунтується на статистичному принципі *norm-referenced assessment* (нормоорієнтоване оцінювання), представленому в сучасній метрологічній літературі [64, 100], та використовувався у практиці функціональної діагностики спортсменів [13, 160]. Суть підходу полягає у тому, що результат інтерпретується відносно нормативної групи, а не за фіксованим стандартом.

Квартильний аналіз застосовано з огляду на відхилення розподілу більшості досліджуваних показників від нормального та наявність міжіндивідуальної варіабельності, характерної для фізіологічних даних [98]. На відміну від середнього значення і стандартного відхилення, які чутливі до асиметрії та поодиноких екстремальних величин, МЕ та інтерквартильний розмах відображають центральні 50% вибірки і є робастними характеристиками варіації. Це дозволяє коректно здійснювати *norm-referenced* інтерпретацію індивідуальних результатів, та підвищує інформативність порівняльного аналізу у неоднорідних групах.

Застосування QSGM передбачає перехід від абсолютних значень фізіологічних показників до формалізованої бальної оцінки, що ґрунтується на їх позиції у квартильному розподілі вибірки. Кожному індивідуальному значенню параметра надавався відповідний бал залежно від належності до певної квартильної зони (таблиця 2.12), а також позитивної та негативної інтерпретації значень, що забезпечувало уніфіковану шкалу оцінювання незалежно від фізіологічної природи показника та його одиниць вимірювання.

Таблиця 2.12 – Формула оцінювання за методом квартильного стандартизованого оцінювання

Формула розподілу балів	Оцінка показників із позитивною інтерпретацією зростання значень	Оцінка показників із негативною інтерпретацією зростання значень
$\min \leq n^* \leq Q1$	1	5
$Q1 \leq n < Me$	2	4
$n = Me$	3	3
$Me < n \leq Q3$	4	2
$Q3 \leq n \leq \max$	5	1

Примітка 1.*: n = значення показника, яке оцінюється.

Такий підхід дозволяє інтерпретувати результати не ізольовано, а відносно структури вибірки, формалізуючи рівень функціонального прояву як низький, середній або вищий відносно групових характеристик. На рисунку 2.1 описана інтерпретація даних у QSGM.

Кольорове кодування даних розглядається як ефективний психофізіологічний інструмент оптимізації їх сприйняття, оскільки обробка кольору належить до преатентативних механізмів зорової системи і відбувається паралельно з аналізом форми та просторових характеристик, що підтверджують *Kalantari S, 2022* та *Wang S, 2024* [56, 121]. Це забезпечує прискорене виявлення патернів, зниження когнітивного навантаження та підвищення точності прийняття рішень при роботі зі складними масивами інформації.

		E							Інтегральна оцінка
		V_E	V_A	$\frac{V_A}{V_E}$	f	V_t	FeO_2	$D_{L}O_2$	
A	Test 30	2	1	1	4	1	3	4	2,3
	Test 30Rec	3	3	3	1	2	3	3	2,6
	65% VO_2 max	1	1	2	5	5	3	5	3,1
	85% VO_2 max	1	1	5	5	3	5	2	3,1
	VO_2 max	1	2	5	5	5	4	2	3,4
	CP VO_2	1	2	5	5	5	2	2	3,1
		A		B		C			D

Примітка 1. A – Досліджуваний спортсмен.

Примітка 2. B – Етап модуляції навантаження.

Примітка 3. C1 – У таблиці представлено бали, які надано кожному абсолютному значенню показника (на основі квартильної статистики).

Примітка 4. C2 – Табличне представлення даних дає змогу оцінити як динаміку кожного показника впродовж тестування, так і роль окремих механізмів у функціональному забезпеченні.

Примітка 5. C3 – Кольорові шкали сприяють полегшенню сприйняття інформації (Зелений – найкращий результат; жовтий – середній рівень; червоний – найгірший результат).

Примітка 6. D – Інтегральна оцінка формується як середнє статистичне балів показників блоку.

Примітка 7. E – Показники у блоках розділені за функціональними системами або характеристиками.

Рисунок 2.1 – Інтерпритація даних у методі квартильного стандартизованого оцінювання

Враховуючи, що у дослідженнях приймали участь спортсмени світового класу, показники рівня Q3 та вище у вибірці можна вважати унікальними, межовими значеннями для конкретних фізіологічних проявів.

2.2 Контингент і організація дослідження

Контингент. Веслувальники високої кваліфікації, n=11 (чоловіки), вік 19 ± 2 роки, стаж підготовки в веслуванні академічному не менше п'яти років,

VO₂max 5,0-6,0 л та однорідним результатом під час виконання ергометричного тесту імітації проходження дистанції 2000 м.

На попередньому етапі експериментальної частини дослідження до тестування були долучені спортсмени резервного складу команди провінції Дзяньши з веслування академічного (n=12) [160]. За їх допомогою відпрацьовано протокол і методику проведення тестування.

Дослідження проведено на базі Науково–дослідного інституту Національного університету фізичного виховання і спорту України (НДІ НУФВСУ), лабораторії наукових партнерів Lab of aquatic training monitoring and intervention of general administration of sport of China (Китайська народна республіка, університет Дзяньши) за участю спеціалістів і наукових співробітників НДІ НУФВСУ та лабораторії університету провінції Дзяньши.

Обстеження спортсменів відбувалося у підготовчому періоді тренувального циклу за стандартних лабораторних умов. На початку проведено аналіз протоколів і первинних матеріалів досліджень веслувальників, які були проведені в лабораторії функціональної діагностики університет Дзяньши. Визначені методи і протокол реєстрації функціональних можливостей спортсменів.

Дослідження організовано з дотриманням етичних принципів Гельсінської декларації. Спортсмени основної групи надали письмову згоду на участь у дослідженні.

Дослідження проведено в чотири етапи протягом 2022 – 2026 року.

На першому етапі (жовтень 2022 – березень 2023 року) обґрунтовані цільові настанови роботи, сформульовані мета, завдання дослідження, визначені засоби і методи теоретичної і експериментальної дослідницької роботи. Затверджено тему, індивідуальний план і загальний зміст роботи. Проведено первинний аналіз літературних джерел, проведено роботу по організації експериментальної частини дослідження.

На другому етапі (квітень 2023 – серпень 2023 року) завершено перший етап дослідження. Завершено основний об'єм дослідницької теоретичної

роботи. Проведені попередні експерименти. Конкретизовані проблемні питання і шляхи їх вирішення, зокрема систематизовані засоби і методи. Сформовано алгоритм дослідження.

На третьому етапі (вересень 2023 – березень 2025 року) проведено цикл тестування веслувальників високого класу. Експериментальна частина дослідження включала підготовчий етап, проведення попереднього апробаційного тестування, реалізацію основної експериментальної частини дослідження веслувальників основної групи. Проведено опрацювання отриманих даних. Результати контролю, оцінки і інтерпретації даних доведені до тренерського складу і впроваджені в систему етапного контролю спортсменів Китаю. Зроблені висновки і обґрунтовані результати теоретичного і експериментального аналізу опубліковані в фахових виданнях України, висвітлені в матеріалів наукових і науково–практичних конференціях з теорії і біології спорту.

На четвертому етапі (квітень 2025 – липень 2026 року) завершено оформлення дисертаційної роботи. Дані теоретичного і експериментального дослідження доповнені сучасними даними. Проведено узагальнення результатів дослідження. Зроблені остаточні висновки. Підготовлені і опубліковані в фахових виданнях України підсумкові результати дослідження.

Здійснено публічне обговорення результатів дослідження, проведено апробацію дисертаційної роботи на кафедрі медичної біології і спортивної дієтології НУФВСУ.

Матеріали другого розділу опубліковані у наукових працях автора [143, 146, 153, 158].

РОЗДІЛ 3

МОНІТОРИНГ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СПОРТСМЕНІВ, ЩО СПЕЦІАЛІЗУЮТЬСЯ У АКАДЕМІЧНОМУ ВЕСЛУВАННІ

Лише за фізіологічними параметрами ($\dot{V}O_{2\max}$, $\dot{V}_{E\max}$, $\dot{V}CO_{2\max}$ тощо) неможливо комплексно оцінити функціональні можливості спеціальної працездатності спортсменів. Граничні характеристики відображають потенціал організму, проте не дають детальної інформації про структуру функціонального забезпечення, його вплив на аеробну та анаеробну потужність, кінетику рухів, дихальну компенсацію метаболічного ацидозу, підтримку стійкого стану і стабільний розвиток фізіологічних реакцій, протидію стану втоми.

Особливо актуальною є проблема у варіативних умовах тренувальних та змагальних навантажень, де зміни інтенсивності, темпо–ритмової структури рухів суттєво впливають на фізіологічну реакцію організму. Існуючі численні дослідження переважно зосереджені на окремих фізіологічних, енергетичних та функціональних показниках і здебільшого описують стандартні умови [88].

Це обґрунтовує необхідність проведення спеціальних досліджень, спрямованих на вивчення механізмів коротко– та довгострокової адаптації організму, моделювання функціональних станів та формування об'єктивних критеріїв оцінки адаптації спортсменів при інтенсивній руховій діяльності [103].

Фізіологічне тестування спортсменів проводиться з метою оцінки не лише індивідуальних можливостей, а й закономірностей реакцій організму на тренувальні та змагальні навантаження [124].

Аналіз статистичних даних дозволяє виявити типові та атипові реакції на фізичні навантаження, оцінити структурні особливості функціонального забезпечення спеціальної працездатності та ступінь адаптації спортсменів. З метою обробки та інтерпретації отриманих результатів досліджень використовували метод квартильної статистики, що дало змогу виявити як

типові реакції, так і індивідуальні прояви адаптації: медіана (ME) та IQR відображають типовий рівень функціональної відповіді, а інтервали Q3–max – зону високої або граничної реалізації відповідної фізіологічної системи.

Для проведення моніторингу блоки параметрів було структуровано у три групи: базові фізіологічні механізми; режими масопереносу O_2 ; функціональні характеристики систем, що забезпечують інтенсивну м'язову роботу. На схемі (рис. 3.1) перелічені 13 блоків та 5 додаткових типологічних характеристик.



Рисунок 3.1 – Структура моніторингу фізіологічного та функціонального стану спортсменів

Перший блок представлений фізіологічними параметрами, що характеризують газообмін та транспорт O_2 , зокрема вентиляцію, дифузію, показники серцево-судинної системи та киснезв'язувальні властивості крові (КЗВК). У ньому висвітлено морфофункціональні передумови ефективного транспорту та утилізації O_2 . Тип адаптації КРС відображає внесок

респіраторного та серцево–судинного компонентів у адаптацію до інтенсивних фізичних навантажень та підтримку рівня працездатності.

Другий блок охоплює показники РМК, які характеризують динамічні та кількісні аспекти транспорту й використання O_2 на різних етапах шляху від зовнішнього дихання до працюючих тканин. До нього віднесено об'ємні швидкості транспорту, інтенсивність переміщення, парціальні тиски O_2 , показники ефективності транспорту, використання та утилізації O_2 , а також кількість переміщеного O_2 на одиницю потужності механічної роботи. Індивідуальні особливості розвитку ГН та ефективність її компенсації дозволяють виявити індивідуальні особливості відповіді на гіпоксичний та гіперкапнічний стимули, адекватність та шляхи компенсації O_2 дефіциту.

Третій блок представлений параметрами, що відображають властивості функціональних систем у умовах інтенсивного фізичного навантаження. До нього включено показники економічності, ефективності зовнішнього дихання, потужності та ємності КРС, реактивності, а також характеристики анаеробного гліколітичного механізму енергозабезпечення та підтримки КЛС крові. На підставі аналізу цих параметрів формуються узагальнені характеристики, зокрема тип реактивності КРС, кислотно–лужний профіль (КЛП) і схильність до певного типу м'язової роботи.

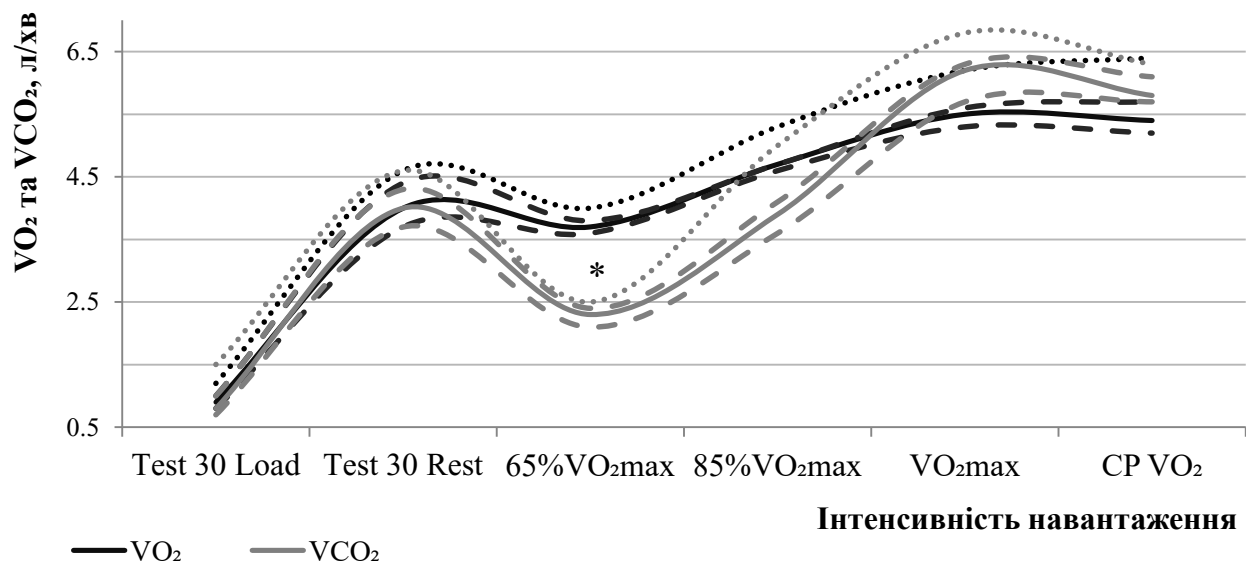
Отримані в результаті тестування фізіологічні і енергетичні характеристики стану організму обстежених спортсменів дозволили провести моніторинг функціонального стану кардіореспіраторної системи, кисневозв'язувальних властивостей крові, анаеробного гліколітичного енергозабезпечення та їх ступінь адаптації при короткотривалому інтенсивному навантаженні (Test 30), степ–тесті на рівнях $65\% \dot{V}O_{2max}$, $85\% \dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}O_{2max}$, а також тесті «критична потужність» ($CP \dot{V}O_2$), які докладно описані у розділі 2.1.

Дані статистичної обробки усіх блоків моніторингу наведені у Додатку Ж.

3.1 Моніторинг фізіологічних параметрів

3.1.1 Газообмін. Споживання кисню та виділення вуглекислого газу

Аналіз динаміки $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ та RER дозволив комплексно оцінити метаболічні стратегії енергозабезпечення спортсменів під час навантажень різної інтенсивності.



Примітка 1. – Суцільна лінія позначає ME значення, пунктирна лінія IQR, точкова лінія – max.

Примітка 2. * $p < 0,05$ – порівнюючи показники $65\% VO_{2max}$ і VO_{2max} ($VO_2 CP$).

Рисунок 3.2 – Динаміка споживання кисню та виділення вуглекислого газу під час модуляції навантаження у спортсменів

Під час *Test 30* медіанне $\dot{V}O_2$ становило 0,9 л/хв, що відображає затримку активації аеробних механізмів під час дуже короткого, інтенсивного навантаження. 30-секундний тест переважно реалізується за рахунок анаеробного алактатного та гліколітичного енергозабезпечення, а O_2 запит значно відстає від механічної потужності. Графік (рис. 3.2) відображає динаміку показників споживання O_2 та виділення CO_2 .

Міжквартильний інтервал $\dot{V}O_2$ і $\dot{V}O_2/\text{кг}$ свідчили про індивідуальні відмінності стартової вентиляційно–метаболічної реакції, які є типовими для коротких тестів, де темп розгортання $\dot{V}O_2$ залежить від рівня тренуваності, потужності старту і функціонального стану ЦНС (за класичним дослідженням *Smith & Hill, 1991*) [109].

Водночас зареєстровані показники виділення CO_2 (IQR 0,7–1,0 л/хв max і 1,5 л/хв) демонстрували суттєві метаболічні коливання. Це вказує на збільшення утворення CO_2 за рахунок анаеробного гліколізу та буферизації La , що типово для високопотужних навантажень малої тривалості. Стабільність CO_2 відповіді була дещо нижча, ніж O_2 , що відповідало різким змінам у КЛС та частці неметаболічного CO_2 .

Варіабельність RER від 0,8 до 1,7 (min-max) підтверджують значну індивідуалізацію реакції на короткочасне максимальне навантаження. Підвищення RER понад 1,0 обумовлене надлишковим CO_2 , що утворюється в результаті нейтралізації надлишку іонів H^+ . Ефективність буферизації визначає толерантність спортсмена до високої гліколітичної потужності, здатність підтримувати інтенсивну роботу в умовах прогресуючого ацидозу та швидкість відновлення після навантаження [128].

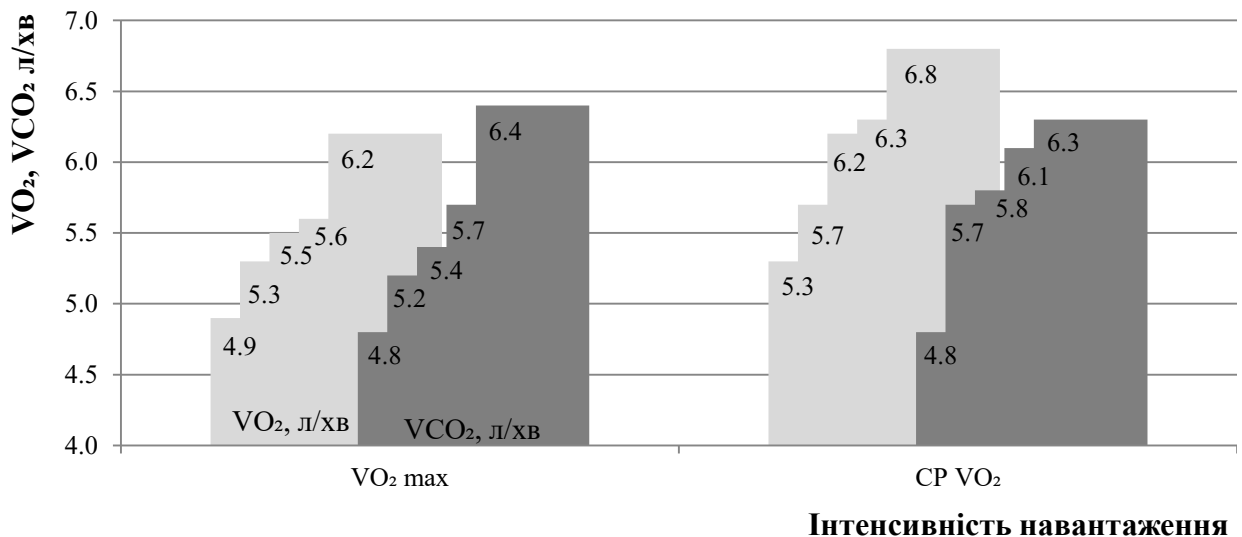
У фазі відновлення після *Test 30* відбувалися процеси, направлені на компенсацію ЕРОС, що формується в результаті короткого інтенсивного навантаження, що відображається у різкому підвищенні $\dot{V}O_2$ і $\dot{V}\text{CO}_2$ (ME 4,0 л/хв для $\dot{V}O_2$ і $\dot{V}\text{CO}_2$). Зростання $\dot{V}\text{CO}_2$ є наслідком як збільшеного метаболічного газоутворення, так подальшої інтенсивної буферизації іонів H^+ .

Знаєння RER (IQR 0,9–1,1) підтверджували активну компенсацію метаболічного ацидозу.

На рівні $65\%\dot{V}O_{2\text{max}}$ (навантаження великої інтенсивності) медіанні значення $\dot{V}O_2$ становили 3,7 л/хв, а RER вказувало на переважання аеробного метаболізму енергозабезпечення. Це зона максимальної економічності КРС, характерна для тренуваних спортсменів [48].

Зростання інтенсивності до $85\%\dot{V}O_{2max}$ супроводжувалося підвищенням ME $\dot{V}O_2$ до 4,7 л/хв і $\dot{V}CO_2$ до 3,9 л/хв. Варіативність $\dot{V}CO_2$ (min–max 2,9–5,0 л/хв) характеризувало індивідуальні відмінності у ємності аеробного та включенні лактатного механізмів енергозабезпечення.

У зоні $\dot{V}O_{2max}$ споживання O_2 досягає 5,3–5,6 л/хв (IQR), при максимальному значенні 6,2 л/хв. $\dot{V}CO_2$ підвищувались до IQR 5,7–6,3 л/хв, а медіана RER перевищує 1,1, що є ознакою повної активації анаеробного гліколітичного метаболізму й систем буферизації. Дана зона характеризується значною фізіологічною напругою та суб'єктивно високою втомою (Caen & Poole, 2024) [16].



Примітка 1. – Каскад відображає значення показників: min, Q1, ME, Q3, max.

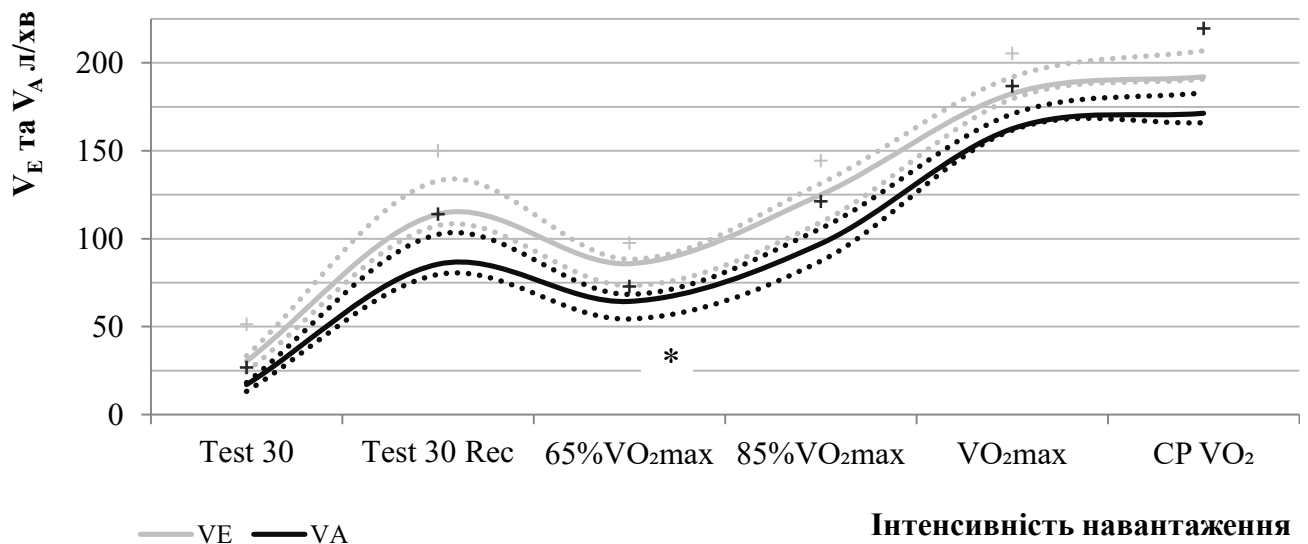
Рисунок 3.3 – Показники $\dot{V}O_2$ і $\dot{V}CO_2$ у спортсменів при інтенсивності навантаження $\dot{V}O_{2max}$ та у тесті CP $\dot{V}O_2$ (від min до max)

Показники газообміну у тесті $\dot{V}O_2$ CP залишаються близькими до рівня $\dot{V}O_{2max}$, що свідчить про високу потужність систем транспорту та утилізації O_2 навіть за умов граничного навантаження. Проте, спостерігається значна варіабельність показників (рис. 3.4), вказувало на значні відмінності у

енергозабезпеченні роботи високої інтенсивності у стані втоми на межі функціональних можливостей [16].

3.1.2 Система вентиляції та дифузії, серцево–судинна система

Є підстави вважати, що оцінка стану спортсмена повинна враховувати як метаболічний компонент, так і здатність до мобілізації дихальної та гемодинамічної систем. На думку фахівців (*Ozkaya & Balci, 2021*) [88], саме цей мобілізаційний потенціал може визначати ефективність адаптивної відповіді на інтенсивне навантаження.



Примітка 1. – Суцільна лінія позначає ME значення, пунктирна лінія IQR, маркерами означено максимальні значення.

Примітка 2. * $p < 0,05$ – порівнюючи показники 65% VO₂ max і CP.

Рисунок 3.4 – Показники легеневої та альвеолярної вентиляції спортсменів під час модуляції навантаження у спортсменів

Головною особливістю *Test 30* являлось те, що КРС не встигає повною мірою реалізувати свої можливості. У системі дихання це відображали показники ($ME \dot{V}_E = 30,3$ л/хв; $\dot{Q} = 5,7$ л/хв). На рисунку 3.4 графічно зображена динаміка $\dot{V}_E$ та $\dot{V}_A$ спортсменів під час виконання масопереносу протоколу.

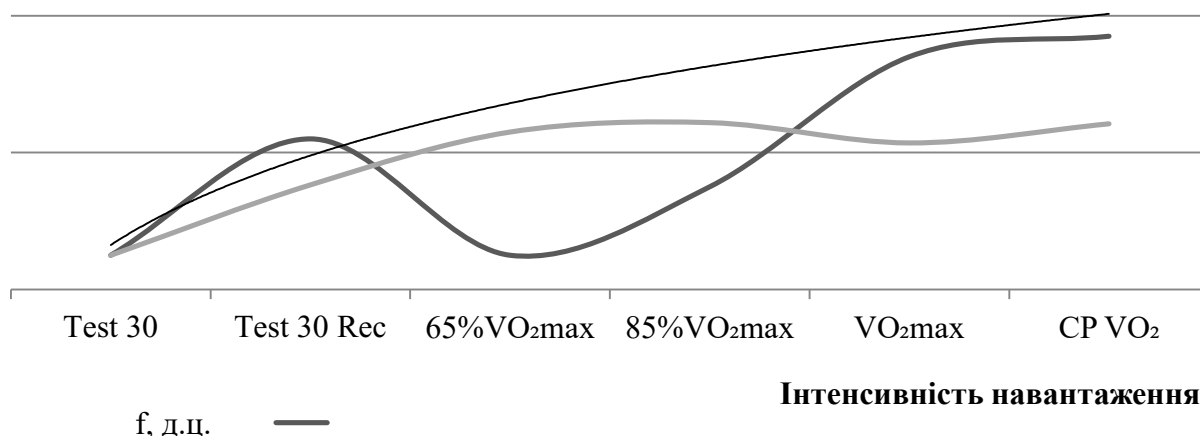
Дихальна система мала виражену інерцію: суттєве збільшення $\dot{V}_E$, f та V_T починається із запізненням приблизно на 10–15 с. Аналогічні інерційні характеристики спостерігаються і в динаміці HR, але якби робота продовжувалась більше 30 с, вони були б більш значущі [26].

У процесі відновлення, відбувалося різке зростання вентиляції (IQR $\dot{V}_E$ 107,6–133,0 л/хв; $\dot{V}_A$ 79,7–102,4 л/хв), спрямоване на швидке усунення CO_2 та метаболічних продуктів. Медіана кількості дихальних циклів становила 37; V_T 3,0 л (при дуже широкому діапазоні значень min–max: f 33–51 д.ц./хв.; V_T 2,0–3,9 л) вказувало на високу варіабельність цих показників, а також пришвидшення й поглиблення дихання майже удвічі, порівняно із Test 30. HR у відновлювальному періоді зростав до 133 скор./хв., разом зі зростанням $\dot{Q}$ (IQR 27,5–32,1 л/хв), цей функціональний стан відповідав феномену компенсації EPOC [119]. Розширення IQR пов'язані з індивідуальним типом реактивності серцево–судинної та дихальної систем.

Навантаження на рівні *стабільного стану* $65\%\dot{V}O_{2max}$ характеризувалося стабільно високими медіанними значеннями $\dot{V}_E$ – 86 л/хв. $\dot{V}_A$ – 64 л/хв., f зростало до 20 д.ц./хв, V_T до 3,9 л. IQR значення показника $D_L\text{O}_2$ вказували на ефективні умови для його дифузії.

Мійжквартильний розмах значень HR (131–143 скор./хв) та SV (215–233 мл) свідчать про найбільш економічний режим роботи серцево–судинної системи. ME $\dot{Q}$ становило 36,9 л/хв.

Наступним було навантаження $85\%\dot{V}O_{2max}$. В цей період ME $\dot{V}_E$ зростав до 125 л/хв, $\dot{V}_A$ до 97,0 л/хв. Відзначалося значне підвищення f до 30 д.ц./хв, при відносно нижчому V_T : загалом, динаміка цих двох показників дає багато інформації про тенденції та відмінності у економічності пристосування газообміну до інтенсивного навантаження, що зображено на рисунку 3.5 (графік демонструє тренд без інтерпретації абсолютних значень показників). Значення $D_L\text{O}_2$ – 154 мл/мм.рт.ст. вказувало на зниження ефективності газообміну. В цей період медіанне HR становило 164,0 скор./хв, $\dot{Q}$ – 36,9 л/хв.

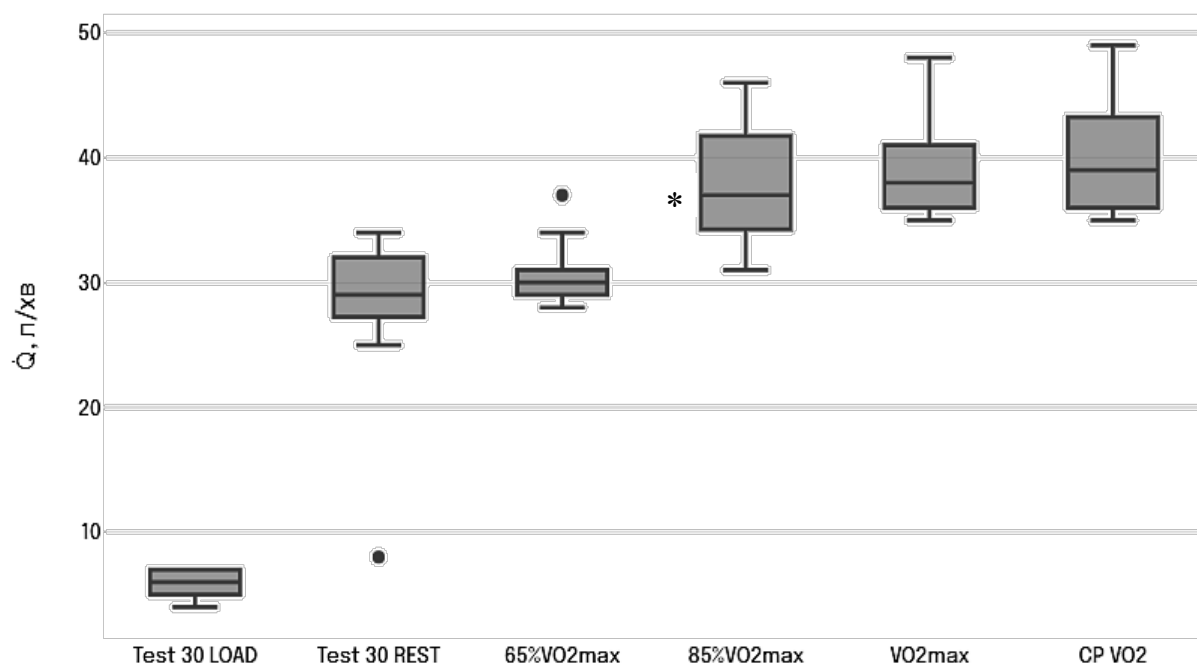


Примітка 1. – лінія тренду демонструє динаміку $\dot{V}O_2$.

Рисунок 3.5 – Динаміка кількості дихальних циклів за хвилину та дихального об'єму у спортсменів під час модуляції навантаження (без урахування абсолютних значень)

На наступному рівні інтенсивності $\dot{V}O_{2max}$ $\dot{V}_E$ досягало 182,5 л/хв; при найвищому $\frac{V_A}{V_E}$, що свідчило про максимальне використання вентиляційних резервів [95]. При збільшенні f до 48,7 д.ц./хв і V_T – 3,8 л, $D_L O_2$ зменшувалось і вказувало на зниження ефективності використання O_2 . Значення HR (185 скор./хв) та ($\dot{Q}$ до 48 л/хв) досягали пікових характеристик. Динаміка показників кровотоку спортсменів під час усього масопереносу навантаження зображена на рисунку 3.6.

Розрахункові характеристики роботи CP $\dot{V}O_2$ відповідають критеріям запропонованим Hill, Poole, & Smith, 2002 коли початкові параметри роботи до «відмови» були орієнтовані на ергометричні показники $\dot{V}O_{2max}$ [51]. CP $\dot{V}O_2$ це зона роботи при максимальній ергометричній потужності, де вентиляційні і гемодинамічні параметри демонструють межові значення. Параметри вентиляції досягали максимуму, (IQR $\dot{V}_E$ 190–210 л/хв, $\dot{V}_A$ – 166–183 л/хв., що забезпечувалось ME f – 52,0 д.ц./хв та V_T – 3,9 л). Параметри серцево–судинної системи теж досягали верхньої межі можливостей при медіанах HR 189 скор./хв, а $\dot{Q}$ 39,2 л/хв.



Рівень інтенсивності навантаження

Примітка 1. * $p < 0,05$ – порівнюючи показники 30 load і іншими показниками.

Рисунок 3.6 – Динаміка хвилинного кровотоку спортсменів під час модуляції фізичного навантаження

3.1.3 Кисневозв'язувальні властивості крові

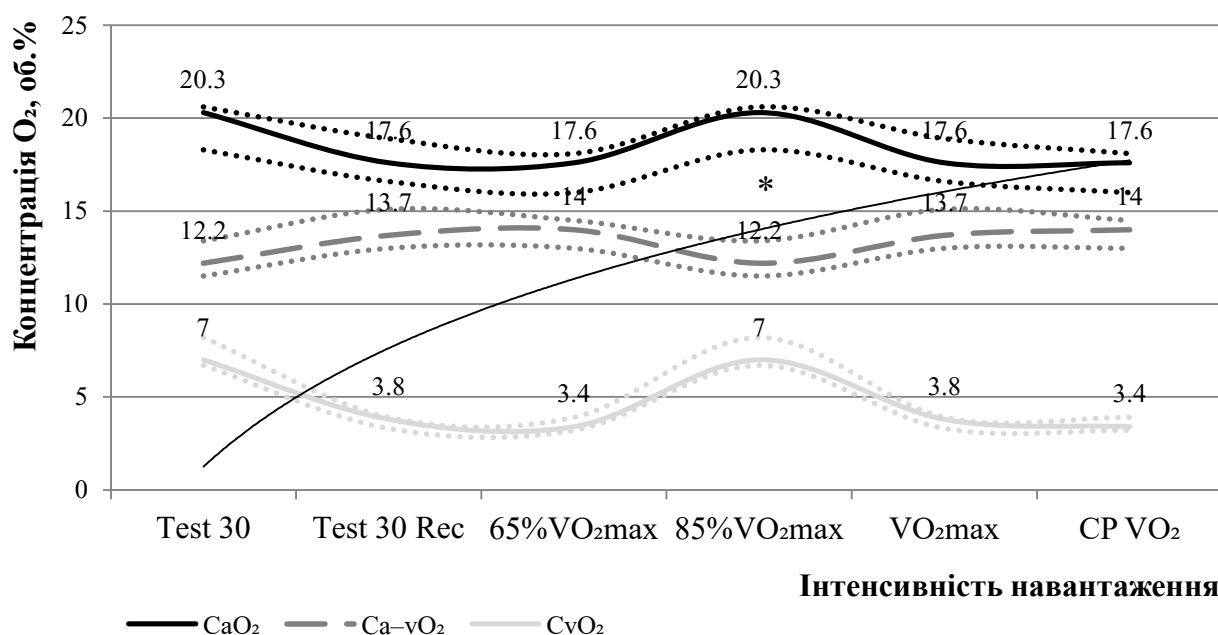
Відомо, що кисневозв'язувальні властивості крові (КЗВК) є центральною ланкою у забезпеченні енергетичних потреб спортсмена під час виконання різних за інтенсивністю фізичних навантажень.

Параметри артеріальної та венозної оксигенації, вмісту O_2 у крові, артеріо–венозного градієнту та показників десатурації дозволили визначити характер змін O_2 забезпечення і ступінь напруженості центральної та периферичної ланок системи транспорту O_2 .

Під час 30-секундного навантаження (Test 30) було встановлено виражене зниження венозних S_vO_2 (ME 20–22%), що було пов'язано зі значною активізацією м'язової перфузії. S_aO_2 та C_aO_2 залишались високими (ME 96% та

20,7 об.%) , що підтверджує збереження ефективного легеневого насичення за умов інтенсивного навантаження. Артеріо–венозний градієнт $C_{a-v}O_2$ досягав медіани 15,9 об.%(тах 17,7 об.%), демонструючи високу спроможність м'язів до утилізації O_2 вже на початку навантаження.

Графіки, що на рисунку 3.7, відображають динаміку медіанних показників концентрації O_2 у артеріальній, веноній крові та їх різниці, що характеризує об'єм спожитого тканинами O_2 .



Примітка 1. – Точковими лініями позначено діапазон IQR.

Примітка 2. – Лінія тренду характеризує динаміку VO_2 .

Примітка 3. * $p < 0,05$ – порівнюючи показники 85% VO_2max і CP.

Рисунок 3.7 – Характеристики концентрації кисню у артеріальній, веноній крові та артеріо-венозна різниця під час модуляції навантаження

У фазі відновлення були зафіксовані суттєві фізіологічні зрушення, що свідчать про перехід організму у стан інтенсивного погашення ЕРОС. Показник S_vO_2 швидко зростав до 33%, що свідчило про належний рівень функціональної підготовленості спортсменів. C_vO_2 збільшувався до МЕ 7,1 об.%. C_aO_2 та S_aO_2 зберігались на рівні Test 30.

При інтенсивності $65\% \dot{V}O_{2max}$ $C_{a-v}O_2$ зменшувався до 11,9 об.%, а рівень S_vO_2 зростав до 40%, що відповідає типово аеробному режиму функціонування. C_aO_2 та S_aO_2 досі були стабільно високими, що забезпечувало достатній O_2 резерв і ефективну роботу КРС.

Перехід у зону субмаксимальної інтенсивності ($85\% \dot{V}O_{2max}$) супроводжувався закономірним зниженням венозних показників (IQR S_vO_2 32,5–37,0%; C_vO_2 6,7–8,2 об.%), що означало активізацію периферичного механізму екстракції O_2 працюючими тканинами. До того ж, зміни венозних показників є індикаторами переходу до третього ступеню ГН [149]. $C_{a-v}O_2$ майже не змінювався (ME 12,2 об.%), артеріальні показники демонстрували збереження ефективності транспорту O_2 , що є характерним для зони VT2 [7].

Навантаження на рівні $\dot{V}O_{2max}$ характеризувалося різким зниженням S_vO_2 до 20%, що відображає граничну інтенсивність забору O_2 тканинами із артеріальної крові; при цьому значення min–max (18–23%) демонстрували індивідуальні відмінності у толерантності до ГН. $C_{a-v}O_2$ (IQR 13–15 об.%) вказував на максимальну мобілізацію периферичних механізмів утилізації O_2 .

Такий профіль свідчить про високий рівень тренуваності, коли під час пікових навантажень організм спортсмена здатний мобілізувати практично весь доступний O_2 [15].

При інтенсивності роботи CP $\dot{V}O_2$ спостерігалися значення усіх показників, близькі до зони $\dot{V}O_{2max}$. Незначне поглиблення венозних показників та артеріо–венозної концентрації O_2 свідчить про переважно збереження або посилення тканинної екстракції, отже про можливість довше утримувати високий рівень O_2 –забезпечення, і є характерною ознакою високої аеробної витривалості в результаті ефективної синхронізації центральних і периферичних механізмів доставки O_2 . Це забезпечує високу ефективність роботи у стані максимального вичерпання функціональних резервів організму та загальної втоми.

3.2 Режими масопереносу кисню

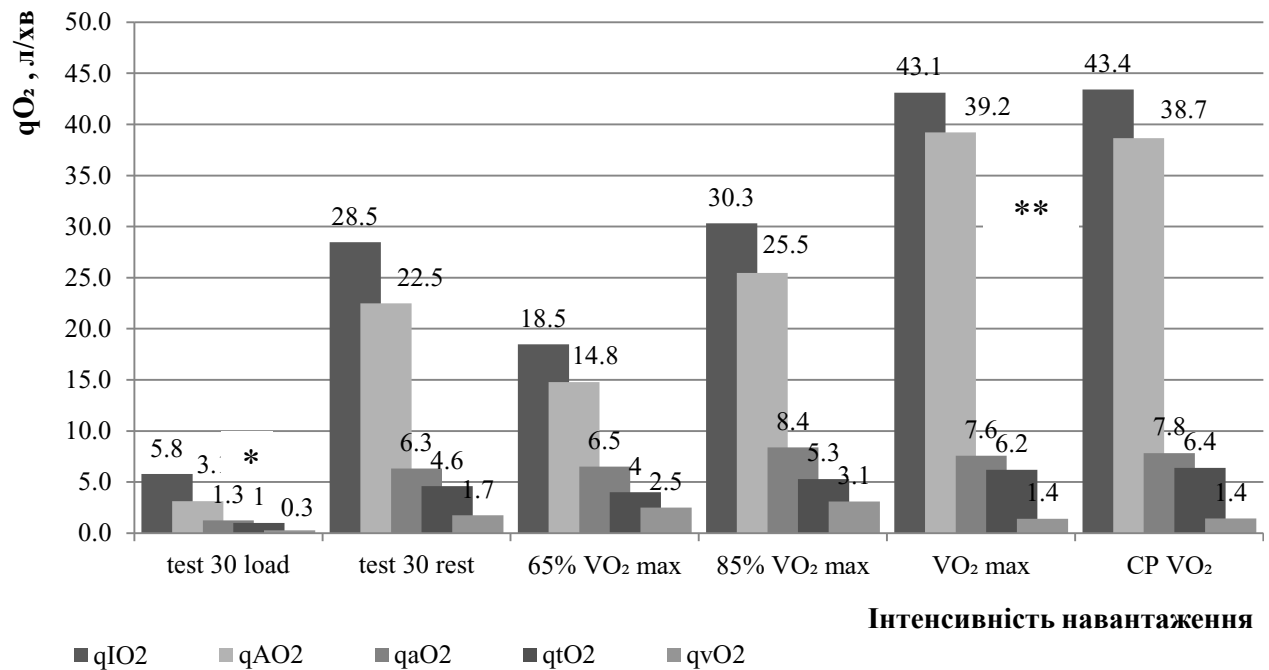
3.2.1 Каскади об'ємної швидкості масопереносу кисню

Щоб охарактеризувати зміни швидкості масопереносу O_2 , було розглянуто наступні параметри: надходження O_2 до легень ($q_I O_2$, л/хв), альвеол ($q_A O_2$ л/хв), артерій ($q_a O_2$, л/хв), швидкість споживання O_2 на тканинному рівні ($q_t O_2 = \dot{V}O_2$, л/хв) та венозний потік O_2 ($q_v O_2$, л/хв).

Аналіз показників *Test 30* свідчить про значну активацію механізмів транспорту O_2 вже на початковому етапі роботи. Медіанні потоки $q_I O_2$ (6,4 л/хв), $q_A O_2$ (3,6 л/хв), $q_a O_2$ (1,3 л/хв) та $q_t O_2$ (0,9 л/хв) залишаються відносно низькими порівняно з потенційними можливостями O_2 -транспортної системи. Водночас аналіз верхніх квантилів ($Q3-max$) у цій фазі виявляє наявність спортсменів із більш вираженою активацією кисневотранспортних механізмів. Максимальне значення $q_I O_2$ досягає 10,8 л/хв, а $q_A O_2$ – 5,6 л/хв, що вказує на індивідуальні відмінності у швидкості залучення серцево-судинної та дихальної систем до забезпечення роботи.

У фазі *Test 30Rec* спостерігається різке зростання потоків транспорту O_2 у 3–6 разів порівняно з *Test 30* (медіани $q_I O_2$ 23,9 л/хв; $q_A O_2$ 18,0 л/хв; $q_a O_2$ 6,1 л/хв та $q_t O_2$ (4,0 л/хв), що у 3–6 разів перевищує відповідні значення фази навантаження. Дані свідчать про інтенсивне погашення ЕРОС та відновлення гомеостазу, проте спостерігається висока варіабельність показників (IQR $q_I O_2$ 22,6–27,7 л/хв.; $q_t O_2$ 1,8–3,7 л/хв.), вказуючи на індивідуальні відмінності механізмів компенсації.

У зоні $65\% \dot{V}O_{2max}$ спостерігалось оптимальне співвідношення між легеневою та тканинною ланками транспорту O_2 . Медіанні потоки, на відміну від *Test 30Rec*, формували компактний IQR, що відповідав умовам економічної аеробної роботи, коли O_2 запит повністю забезпечуються за рахунок окисного фосфорилування. На рисунку 3.8 зображена динаміка зростання каскадів qO_2 під час степ-тесту та тесту СР.



Примітка 1. – На діаграмі наведені медіанні значення qO_2 .

Примітка 2. * $p < 0,05$ – порівнюючи показники 30 load з іншими показниками.

Рисунок 3.8 – Каскади об'ємної швидкості переміщення кисню в організмі під час модуляції навантаження

При $85\% \dot{V}O_{2max}$ підвищення усіх потоків O_2 демонструє значне напруження на усіх етапах масопереносу від легеневого до тканинного.

На піку $\dot{V}O_2$ значення qO_2 відображають максимальну інтегровану роботу серцево-судинної, дихальної та м'язової систем. Особливо важливо виділити показники у діапазоні Q3–max (q_{IO_2} до 43,1 л/хв; q_{AO_2} до 7,6 л/хв.; q_{tO_2} до 6,2 л/хв), які дозволяють ідентифікувати спортсменів із близькою до фізіологічних меж швидкістю транспорту O_2 .

Під час роботи CP $\dot{V}O_2$ медіанні значення qO_2 вказують рівень РМК, близький до $\dot{V}O_{2max}$. При цьому max q_{IO_2} (43,4 л/хв) та q_{tO_2} (6,4 л/хв) навіть незначно перевищувало значення $\dot{V}O_{2max}$ (43,1 та 6,2 л/хв відповідно), що свідчило про оптимальну адаптацію тканин до високої інтенсивності роботи. Показники венозної швидкості транспорту є гранично низькими (ME $q_{vO_2} = 1,4$ л/хв при $\dot{V}O_{2max}$ та CP), вказуючи на граничні можливості екстракції.

Таким чином, у режимі СР запит O_2 задовольнявся повністю, але за рахунок мобілізації всіх доступних резервів O_2 –транспортної системи.

3.2.2 Каскади парціального тиску кисню

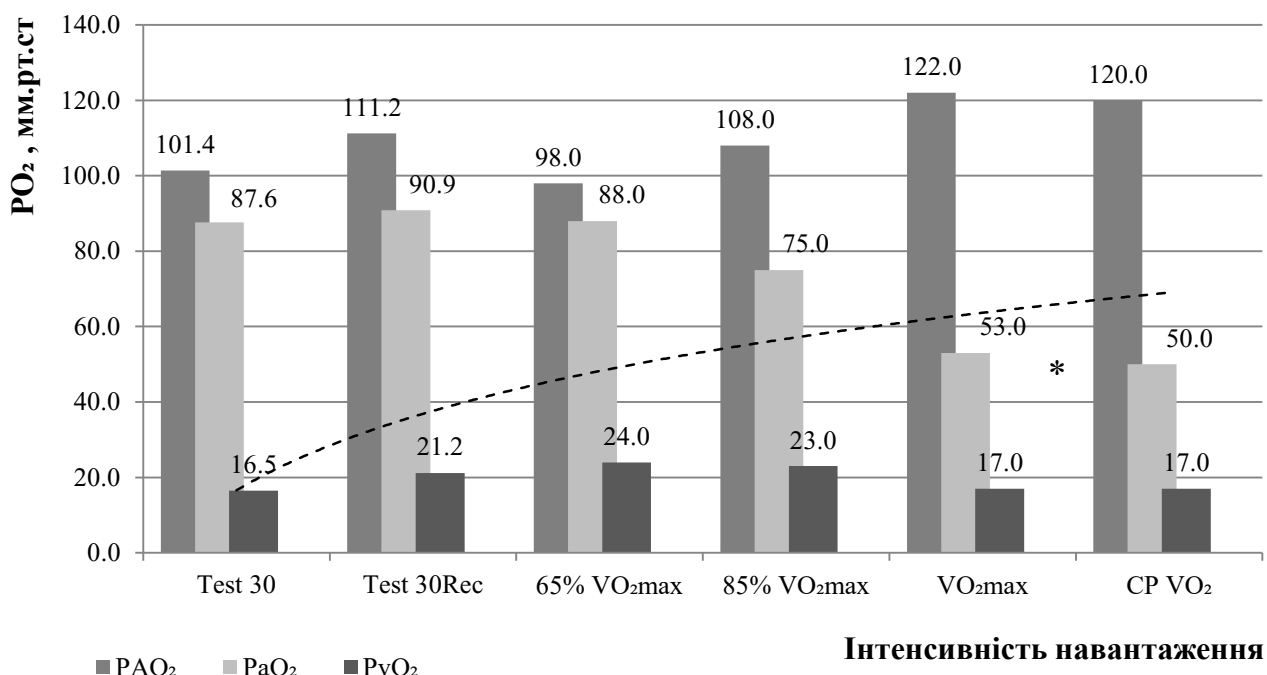
Високий PO_2 покращує умови його дифузії в організмі, але цей показник обумовлений як фізико–хімічними властивостями O_2 , умовами зовнішнього середовища, так і функціональними особливостями КРС, що відображено на каскадах динаміки його зміни під час модуляції навантаження (рис. 3.9).

У фазі *Test 30* альвеолярний та артеріальний PO_2 мали міжквартильний інтервал 94–104 та 88–93 мм рт.ст. що вказувало на індивідуальну схильність до активації вентиляції у спортсменів. P_vO_2 (IQR 16,2–16,9 мм рт.ст.) свідчив тенденцію до високої тканинної екстракції O_2 .

У *Test 30Rec* розподіл P_AO_2 чітко зміщувався у бік вищих значень ($Q1$ – $Q3$ 106–129 мм рт.ст.; $\max$ 140 мм рт.ст.), що відображає затримку вентиляційної відповіді на короткочасне максимальне навантаження [104]. P_aO_2 зростав помірно у межах квартилів 84–96 мм рт.ст, тоді як P_vO_2 (20–22 мм рт.ст) свідчить про поступову компенсацію O_2 –боргу.

Показники PO_2 $65\% \dot{V}O_{2\max}$ характеризувались компактним IQR (для P_AO_2 – 93–101 мм рт.ст., P_aO_2 – 83–91 мм рт.ст., P_vO_2 – 24–25 мм рт.ст. Медіана P_vO_2 (24 мм рт.ст.) вказувала на узгодженість доставки та утилізації O_2 і відсутність вираженого O_2 –дефіциту.

У зоні $85\% \dot{V}O_{2\max}$ спостерігалось підвищення P_AO_2 при одночасному зниженні P_aO_2 (МЕ відповідно 109 та 74 мм рт.ст). Тенденція до збільшення альвеолярно–артеріальної різниці спостерігається до кінця тесту та відображає поступове зниження ефективності вентиляції при зростанні її абсолютних значень. Медіана P_vO_2 зберігається на рівні 22 мм рт.ст., що відображає стабільність споживання O_2 попри збільшення навантаження на систему транспорту.



Примітка 1. – Лінія тренду демонструє динаміку VO₂, мл/кг/хв.

Примітка 2. * $p < 0,05$ – порівнюючи показники Pa O₂ і PAO₂ 30 load, 30 rest, 65% VO₂ max, 85% VO₂ max і VO₂ max, CP.

Рисунок 3.9 – Каскади поетапної зміни парціального тиску кисню в організмі спортсменів при навантаженнях різної інтенсивності

На рівні $\dot{V}O_{2\max}$ P_AO₂ досягав високих значень при вузькому IQR (120–122 мм рт.ст), тоді як P_aO₂ продовжував знижуватись (51–54 мм рт.ст.). Одночасно P_vO₂ досягав 17 мм рт.ст з мінімальною варіабельністю.

Під час роботи на рівні CP $\dot{V}O_2$ зберігалася та сама конфігурація розподілів: стабільно високий P_AO₂ (121–124 мм рт.ст), низький і P_aO₂ (49–51 мм рт.ст), що вказує на малоефективну вентиляцію. ME P_vO₂ 17 мм рт.ст.: близькість до значень $\dot{V}O_{2\max}$ свідчить про граничний рівень тканинного споживання O₂.

3.2.3 Ефективність режимів масопереносу кисню

Під час Test 30 ефективність масопереносу O₂ характеризувалася різкою активацією вентиляційно–альвеолярної ланки: Ef q_IO₂ становив 6,9% (IQR 6,2–

7,3%), $Ef q_A O_2$ – 3,8% (IQR 3,3–4,0%). Водночас $Ef q_A O_2$ і $Ef q_v O_2$ залишалися мінімальними (1,3% і 0,3%), що свідчило про обмеження системної доставки. У структурі екстракції домінувала тканинна ланка: $O_2 ER_t$ – 78,7% (IQR 77,4–79,4%) при помірному $KUL O_2$ (14,4%) і низькому варіабельному $O_2 ER_L$ (12,3%; IQR 9,6–13,6%), що відображало дефіцит часу для легеневого захоплення O_2 .

Відзначалася висока індивідуальна варіабельність вентиляційної відповіді під час *Test 30Rec* ($Ef q_I O_2$ – 6,2%; IQR 9,6–20,2%, $Ef q_A O_2$ – 4,7%; IQR 7,0–14,6%). $Ef q_A O_2$ і $Ef q_v O_2$ зростали до 1,5% і 0,5%, що вказувало на поступове відновлення. У каскаді екстракції спостерігалось тимчасове зміщення в бік легеневої ланки: $O_2 ER_L$ – 15,1% (IQR 13,8–34,3%) при зниженні $O_2 ER_t$ до 67,1% (IQR 64,7–70,0%) та варіабельному $KUL O_2$ (16,2%; IQR 8,7–18,2%).

Етап $65\% \dot{V}O_{2max}$ характеризувався найбільшою економічністю. $Ef q_I O_2$ – 4,6% (IQR 4,2–5,0%), $Ef q_A O_2$ – 3,5% (IQR 3,2–3,7%), тоді як $Ef q_A O_2$ і $Ef q_v O_2$ досягали максимальних для аеробної роботи значень (1,7% і 0,7%). $KUL O_2$ був найвищим (21,6%), $O_2 ER_L$ залишався низьким (7,9%), а $O_2 ER_t$ – стабільним (58,9%; IQR 57,3–60,0%), що відображало оптимальну узгодженість вентиляції, перфузії та тканинної утилізації.

Напруження всіх ланок вже відбувається на при $85\% \dot{V}O_{2max}$: $Ef q_I O_2$ – 5,7%, $Ef q_A O_2$ – 4,5% при стабільних $Ef q_A O_2$ (1,6%) і $Ef q_v O_2$ (0,6%). Посилювалася роль легеневої екстракції ($O_2 ER_L$ – 29,3%; IQR 25,5–37,5%), $KUL O_2$ дещо знижувався (17,6%; IQR 16,8–20,5%), $O_2 ER_t$ залишався високим (63,5%; IQR 60,4–65,3%), що відповідало напруженому, але ефективному аеробному режиму.

На піку споживання O_2 $Ef q_I O_2$ і $Ef q_A O_2$ досягали максимальних значень (7,0 та 6,3; IQR 6,8–7,2 і 6,2–6,5), тоді як $Ef q_A O_2$ і $Ef q_v O_2$ знижувалися (1,3% і 0,3%), відображаючи граничну периферичну екстракцію. $O_2 ER_L$ (56,8%; IQR 54,4–58,1%) і $O_2 ER_t$ (79,7%; IQR 78,7–80,7%) були максимальними при

зниженні KUL O_2 до 14,4% (IQR 13,8–14,7%), що свідчило про вентиляційно–перфузійні обмеження та зростання “вартості” споживання O_2 .

При $CP \dot{V}O_2$ Відзначалася найбільша стабільна напруга системи транспорту: $Ef q_I O_2$ – 7,5 (IQR 7,1–8,3), $Ef q_A O_2$ – 6,8 (IQR 6,3–7,1) при мінімальних $Ef q_a O_2$ (1,2%) і $Ef q_v O_2$ (0,2%). $O_2 ERL$ (59,5%; IQR 58,8–60,6%) та $O_2 ERt$ (80,7%; IQR 78,7–81,2%) досягали граничних значень, тоді як KUL O_2 був найнижчим (13,4%; IQR 12,1–14,2%), що підтверджувало домінування тканинних механізмів екстракції, малоефективну вентиляцію та дифузію, вичерпання функціональних резервів.

3.2.4 Каскади інтенсивності переміщення кисню в організмі

Каскад інтенсивності переміщення O_2 в організмі ($Int q O_2$, мл/кг/хв.) загалом корелює із каскадом $q O_2$, але є важливим питомим показником для індивідуального аналізу (розділ 4).

У *Test 30* медіанне $Int q_I O_2$ 177,9 мл/кг/хв відображало переважно анаеробний характер роботи з обмеженим залученням аеробних механізмів, а діапазон значень від min 49,5 до max 126,4 мл/кг/хв свідчить про індивідуальні відмінності швидкості легеневого потоку O_2 на стартовому етапі.

На $65\% \dot{V}O_{2max}$ медіанне $Int q_I O_2$ 294,1 мл/кг/хв (IQR 229,5–332,6 мл/кг/хв) демонструє різке зростання швидкості легеневого потоку O_2 , а паралельне підвищення $Int q_A O_2$ і $Int q_a O_2$ вказує на ефективне надходження його в артеріальне русло.

На $85\% \dot{V}O_{2max}$ медіанне $Int q_I O_2$ 210,2 мл/кг/хв (IQR 183,7–223,0 мл/кг/хв) відображає стабілізацію внеску тканинної та венозної ланок. Звуження міжквартильного інтервалу свідчить про уніфіковану групову відповідь організму на високі, але контрольовані навантаження.

При $\dot{V}O_{2max}$ медіанне $Int q_I O_2$ 301,4 мл/кг/хв (IQR 275,6–336,4) характеризує досягнення пікових швидкостей легеневого потоку O_2 , із домінуванням альвеолярно–артеріальної та тканинної складових. Значення $Int q_a O_2$ показують максимальну ефективність доставки, а широкий діапазон

значень показника швидкості споживання O_2 від $\min$ 243,0 до $\max$ 383,1 мл/кг/хв відображає різний рівень толерантності спортсменів до граничних навантажень.

В умовах критичної потужності медіанне $\text{Int } q_{lO_2}$ 454,7 мл/кг/хв (IQR 425,2–483,0 мл/кг/хв) відображає граничні можливості системи транспорту O_2 відносно маси тіла спортсменів. Зниження $\text{Int } q_{vO_2}$ порівняно з $\dot{V}O_{2\max}$ може свідчити про обмеження $\dot{V}O_2$ у стані втоми [149].

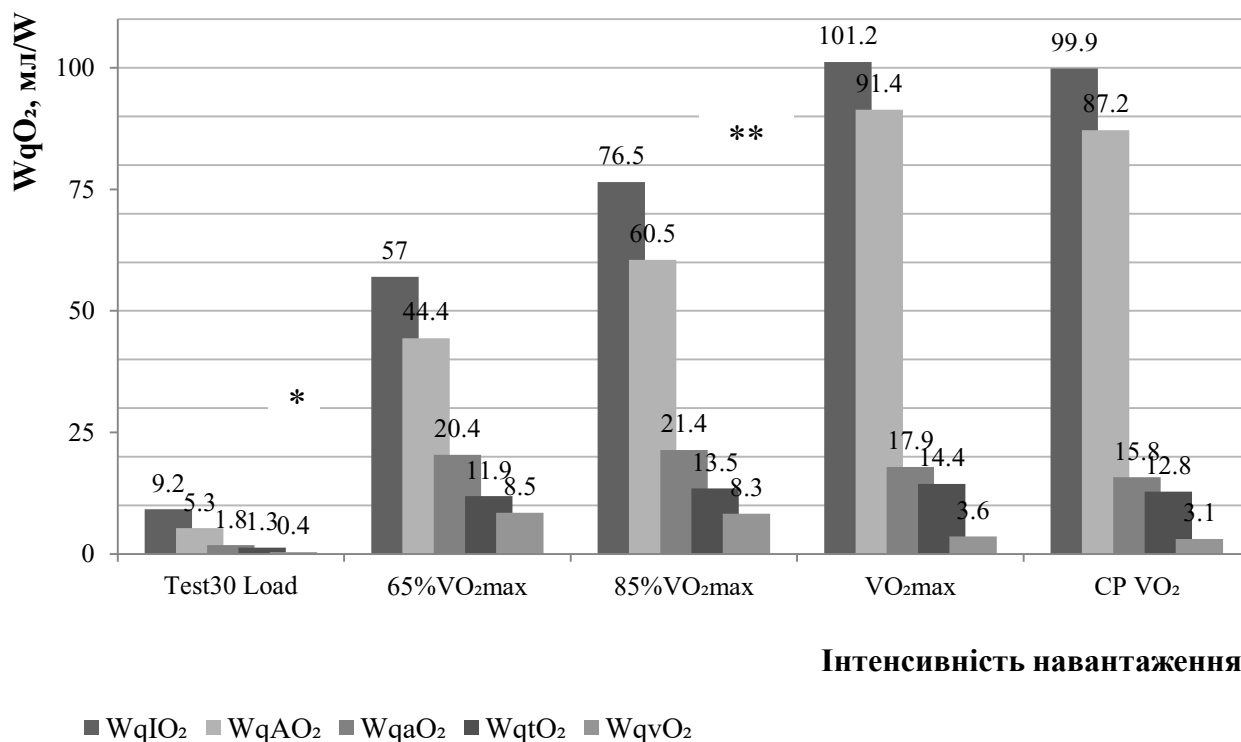
3.2.5 Киснева вартість робочої потужності

Отримані значення W_{qO_2} (л/Вт) відображають кількість O_2 , потрібного для виконання механічної роботи (рис. 3.9). Цей показник *вперше* був описаний у роботах автора та ін. [139, 141, 153, 159, 160], як інформативний з боку функціонального забезпечення організму спортсмена під час модуляції фізичного навантаження. W_{qO_2} (л/Вт) відображають кількість O_2 , потрібного для виконання механічної роботи та пропонується як інформативний для аналізу ефективності функціонального забезпечення організму спортсмена в залежності від потужності роботи, яку він виконує.

За умов *Test 30* швидкість переміщення O_2 відносно виконаної м'язової роботи $W_{q_{lO_2}}$ мала медіану 9,2 мл/Вт (IQR 7,9–11,2 мл/Вт), що відображало початкову активацію транспортних механізмів у відповідь на інтенсивну роботу м'язів. Альвеолярний компонент $W_{q_{AO_2}} ME = 5,3$ мл/Вт демонстрував потужну вентиляційно–альвеолярну відповідь. Артеріальна та тканинна W_{qO_2} залишалися обмеженими (ME 1,8 та 1,3 мл/Вт), а $W_{q_{vO_2}}$ – низькою (0,4 мл/Вт), що вказувало на те, що екстракція O_2 тканинами лише починала відповідати зростанню м'язової роботи.

Навантаження у межах $65\% \dot{V}O_{2\max}$ $W_{q_{lO_2}}$ значно зросла до медіани 57,0 мл/Вт (IQR 52,6–60,6) а $W_{q_{AO_2}}$ досягла 44,4–46,8 мл/Вт. Артеріальні та венозна ланка W_{qO_2} також досягли стабільних високих значень (ME 20,4 та 11,9 мл/Вт), а венозна зростала (8,5 мл/Вт), що вказувало на інтенсифікацію масопереносу O_2 в організмі при зростанні його споживання (табл. 3.1).

Фізіологічно, ця зона відповідала збалансованому аеробному режиму з узгодженою роботою всіх ланок транспорту.



Примітка 1. * $p < 0,05$ – порівнюючи показники $P_a O_2$ і P_{AO_2} 30 load і 65% VO_2 max, 85% VO_2 max, VO_2 max, CP.

Примітка 2. ** $p < 0,05$ – порівнюючи показники $P_a O_2$ і P_{AO_2} 85% VO_2 max і VO_2 max, CP.

Рисунок 3.9 – Медіанні показники переміщення кисню на одиницю механічної потужності роботи

При підвищенні інтенсивності навантаження до 85% $\dot{V}O_{2max}$ $W_{qI}O_2$ збільшилася до медіани 76,5 мл/W (IQR 66,6–84,2 мл/W). Альвеолярна інтенсивність досягала 60,5–67,8 мл/W, що свідчило про інтенсивну вентиляційно–альвеолярну активність. $W_{qa}O_2$ та $W_{qv}O_2$ залишалися відносно стабільними (медіани 21,4 та 13,5 мл/W), а $W_{qv}O_2$ (8,3 мл/W) відображала стабільно високий рівень транспорту O_2 при подальшому зростанні його використання працюючими під час субмаксимального навантаження.

На рівні $\dot{V}O_{2max}$ швидкість переміщення O_2 під час вдиху досягла медіани 101,2 мл/W (IQR 98,1–102,1 мл/W), відображаючи максимальну

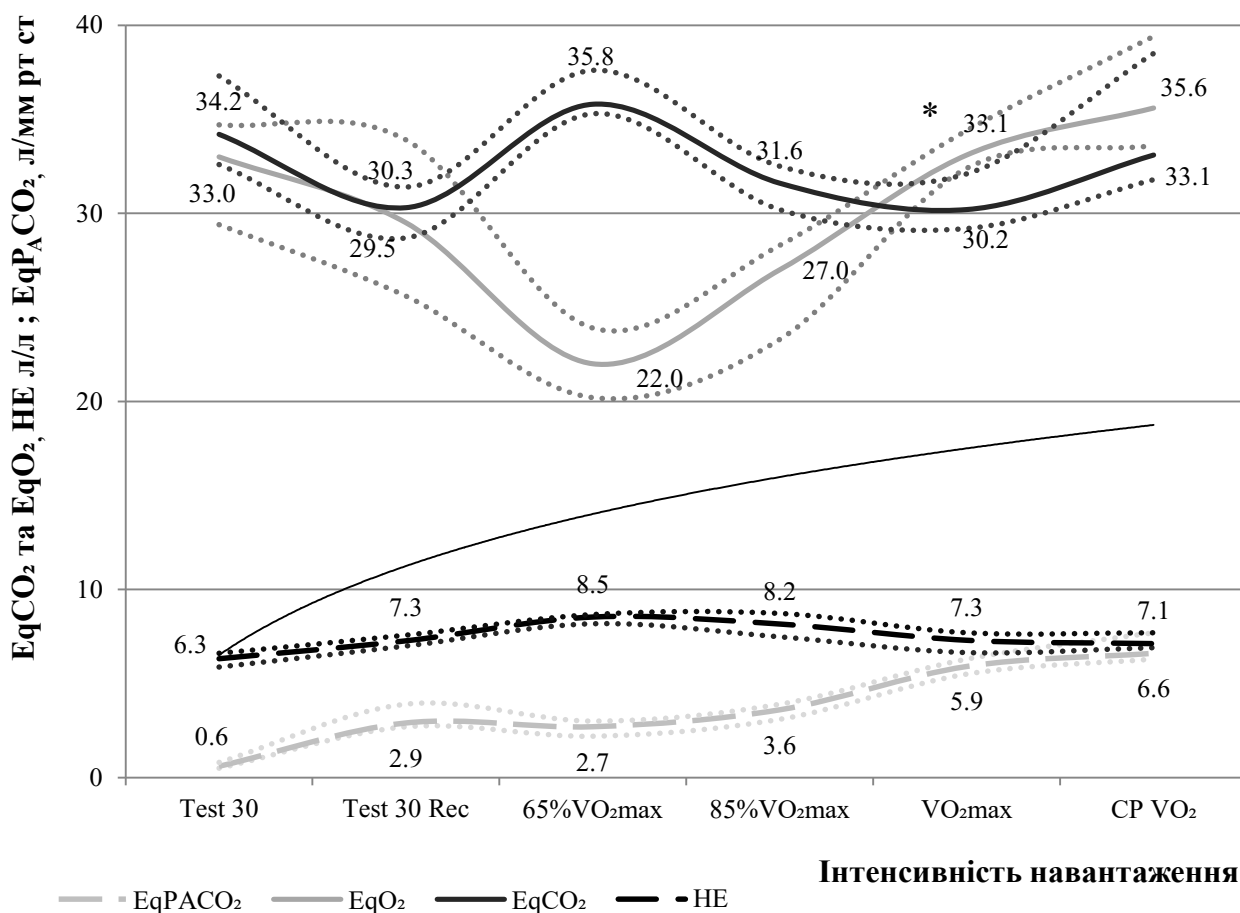
роботу $\dot{V}_E$. $W_{qA}O_2$ зросла до 91,4 мл/W (IQR 87,4–92,8). $W_{qA}O_2$ та $W_{qV}O_2$ відображають межі інтенсивності переміщення O_2 артеріальним руслом та екстракції тканинами (ME 17,9 та 14,4 мл/W), потужність споживання O_2 знизилася до медіанного значення 3,6 мл/W, що вказувало на максимально високу екстракцію O_2 працюючими м'язами. Зниження інтенсивності венозного транспорту O_2 є ознакою досягнення граничної ефективності масопереносу та досягнення межі фізіологічної адаптації серцево–судинної системи та тканинних можливостей до споживання O_2 .

Під час роботи на CP $\dot{V}O_2$ інтенсивність $W_{qI}O_2$ зберігалася високою (ME 99,9; IQR 94,3–101,7 мл/W). Альвеолярний компонент залишався значним із середнім значенням 87,3 мл/W, артеріальна та тканинна потужність дещо знижувались (медіани 15,8 та 12,8 мл/W), як і венозна (3,1 мл/W), відображаючи роботу кисневотранспортних механізмів у екстремальному режимі.

3.3 Функціональний моніторинг систем енергозабезпечення

3.3.1 Показники економічності та ефективності кардіореспіраторної системи

Показники вентиляційних еквівалентів за O_2 (EqO_2 , л/л), CO_2 ($EqCO_2$, л/л), P_ACO_2 (EqP_ACO_2 , л/мм рт.ст.), що характеризують ступінь узгодженості вентиляційної відповіді з метаболічними потребами та стабільністю газового гомеостазу при фізичному навантаженні (рис 3.11). Гемодинамічний еквівалент (HE л/л) та O_2 –ефект дихального та серцевого циклів (O_2HR , мл/скор та O_2RC мл/д.ц.), дозволяють визначити взаємозв'язок між O_2 витратами та продуктивністю роботи КРС.



Примітка 1. – Суцільна лінія відображає МЕ, точкова лінія IQR.

Примітка 2. – Лінія тренду відображає динаміку VO₂.

Примітка 3. * $p < 0,05$ – порівнюючи показники EqO₂ з EqCO₂ 65% VO₂ max, 85% VO₂ max і VO₂ max.

Рисунок 3.11 – Динаміка еквівалентів вентиляції за вуглекислим газом, киснем та парціальним тиском альвеолярного вуглекислого газу та гемодинамічного еквіваленту

У *Test 30* медіана EqP_ACO₂ становила 0,6 л/мм рт.ст. при розкиді значень min–max 0,4–1,1; що вказує на виражені індивідуальні відмінності відповіді вентиляційної ланки. Показник EqCO₂ (МЕ 34,2 л/л) визначає помірну вентиляційну відповідь та свідчить про здатність V_E ефективно підтримувати необхідний рівень елімінації CO₂. Кожен літр спожитого O₂ вилучався з 33 л V_E, що відображало високу вентиляційну вартість.

При цьому за кожний серцевий цикл споживалося 9,7 мл при вузькому IQR (7,9–10,6 мл/скор); тоді як O₂RC характеризувався вищою варіабельністю

(45,6–58,0 мл/д.ц.), вказуючи на відмінності вентиляційної відповіді. Для споживання літру O_2 потрібно було 5,9–6,6 л циркулюючої крові (IQR HE, л/л). Гемодинамічний еквівалент цікаво розглядати поряд з вентиляційним еквівалентом за O_2 (EqO_2 , л/л). Рисунок 3.11 відображає динаміку цих показників під час навантаження різної інтенсивності, яка свідчить про нелінійність внеску дихальної та серцево–судинної ланки у забезпечення $\dot{V}O_2$.

У період відновлення після *Test 30* вентиляційні еквіваленти відображали активну компенсацію метаболічних зрушень. EqP_ACO_2 збільшувався до медіани 2,9 (IQR 2,7–3,9 л/мм рт.ст.), що відповідало післянавантажувальному посиленню альвеолярної вентиляції у відповідь на надлишок CO_2 . $EqCO_2$ характеризувався широким міжквартильним діапазоном (25,6–33,9 л/л), що вказувало на варіабельність швидкості елімінації CO_2 та індивідуальні особливості формування ЕРОС. EqO_2 мав медіанне значення 30,3 л/л (IQR 28,7–31,4) і відображав підвищену вентиляційну підтримку процесів окиснення. HE незначно зростав до медіани 7,3 л/л із мінімальними відхиленнями (IQR 7,0–7,6). O_2 –ефект дихального та серцевого циклів зростав у 2–2,5 рази, порівняно з *Test 30* (100,0 мл/д.ц та 29,2 мл/скор. Відповідно).

У режимі 65% $\dot{V}O_{2max}$ $EqCO_2$ був максимальним (IQR 35,3–37 л/л), що спричиненювалось високим рівнем вентиляції при низькому $\dot{V}CO_2$. Еквівалент O_2 становив 20,2–23,9 л/л, а EqP_ACO_2 утримувався в межах 2,2–3,0 л/л. На цьому тлі O_2HR (26,1 мл/скор) і O_2RC (170 мл/д.ц.) характеризували стабільне вилучення O_2 , а HE досягав максимальних значень (8,2–8,7 л/л), відображаючи значне навантаження на серцево–судинну систему (тоді як EqO_2 при 65% $\dot{V}O_{2max}$ демонструє пік економичності). Це вказує на швидше досягнення респіраторною ланкою максимально ефективного режиму транспорту O_2 , характерне для адаптації КРС до навантажень.

За інтенсивності 85% $\dot{V}O_{2max}$ EqP_ACO_2 підвищувався до 3,6 л/мм рт.ст., EqO_2 починає експоненційне зростання (IQR 23,3–28,3 л/л). $EqCO_2$ виходив із зони максимуму, що відображало накопичення CO_2 . Гемодинамічний

еквівалент незначно знижується до 7,5–8,7 л/л, тоді як O_2HR (28,7 мл/скор.) і O_2RC (156,7 мл/д.ц.) характеризували посилення системного транспорту O_2 .

При досягненні $\dot{V}O_{2max}$ EqP_ACO_2 збільшувався до 5,9 л/мм рт.ст., що відповідало стійкій гіпервентиляційній реакції. Загалом, динаміка еквіваленту вентиляції за P_ACO_2 протягом протоколу тестування є ознакою адекватної та ефективної альвеолярної вентиляції. $EqCO_2$ залишався відносно стабільним – 33,1 л/л, що свідчило про контрольовану ефективність видалення CO_2 , при подальшому його збільшенні. EqO_2 дорівнював 30,2 л/л і характеризувався мінімальною варіативністю. НЕ становив 7,3 л/л, а подальше зростання медіани O_2HR (29,3 мл/скор.) підтверджувало провідну роль серцево–судинної системи у досягненні граничної продуктивності.

У зоні CP вентиляційні еквіваленти зростали: IQR EqP_ACO_2 6,3–7,7 л/мм рт.ст.; $EqCO_2$ 33,6–39,4 л/л, EqO_2 – 33,8–38,5 л/л. Це відображало домінування компенсаторної гіпервентиляції, спрямованої на стабілізацію КЛС. НЕ знижувався до 7,1 л/л, підтверджуючи максимальну ємність серцево–судинної системи. O_2HR залишався високим (МЕ 29,5 мл/скор), тоді як O_2RC зменшувався до 95,0–110,2 мл/д.ц.

3.3.2 Потужність та ємність кардіореспіраторної системи

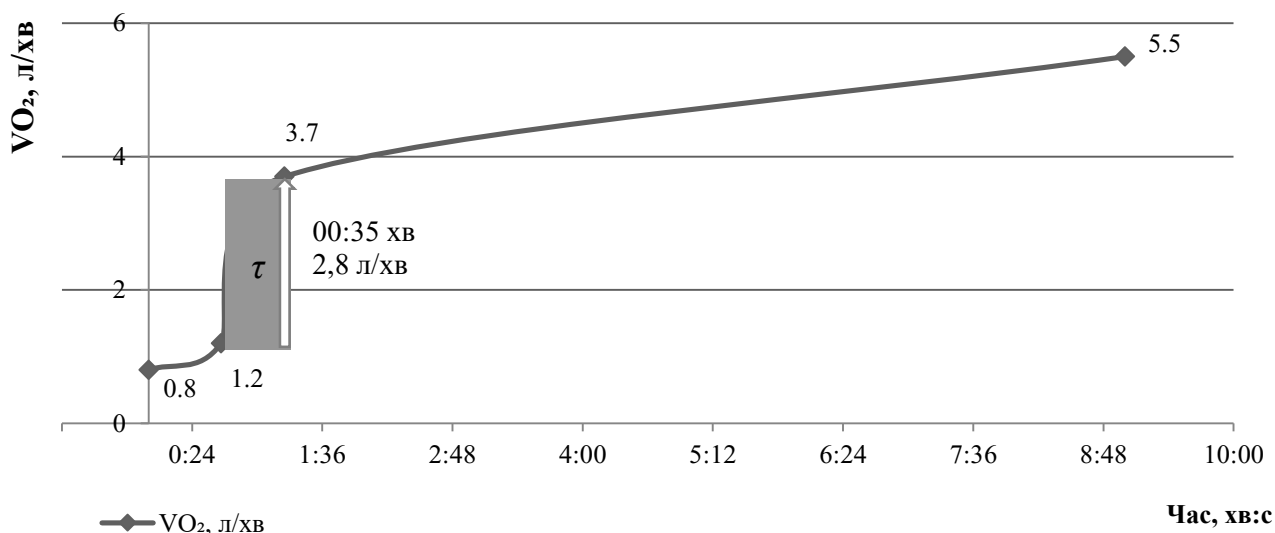
Потужність КРС (Test30/CP). На початку протоколу показник EqO_2 $\frac{Test\ 30}{CP\ \dot{V}O_2}$ становив 87,7 % (IQR: 80,0–96,7 %) із дуже широким діапазоном значень – від 57,9 до 169,0%, що відображає значну індивідуальну варіабельність ефективності вентиляційного еквівалента за O_2 при потужному старті та наявності вираженого O_2 -дефіциту. Висока варіабельність $EqCO_2$ $\frac{Test\ 30}{CP\ \dot{V}O_2}$ (min–max 73,2–122,8 %) вказувала на ще не оптимізовані вентиляційно–перфузійні співвідношення. Водночас рівень $\dot{V}O_2$ $\frac{Test\ 30}{CP\ \dot{V}O_2}$ (МЕ 15,6 %; min–max 13,7–21,1 %), відповідає початковій реалізації аеробного потенціалу та підтверджує, що енергозабезпечення на цьому етапі відбувається лише на старті

функціональної перебудови системи транспорту O_2 [24]. Високі та значення $EqO_2 \frac{Test\ 30}{CP\ \dot{V}O_2}$ та $EqCO_2 \frac{Test\ 30}{CP\ \dot{V}O_2}$ при низькому $\dot{V}O_2 \frac{Test\ 30}{CP\ \dot{V}O_2}$ характеризує Test 30 як зону високої напруги механізмів аеробного енергозабезпечення, тобто відображає високу потужність КРС.

Ємність КРС ($\dot{V}O_{2max}/CP$). На рівні максимального навантаження $\dot{V}O_2$ досягає IQR 98,2–102,0%, а зміщення в бік вищих значень (ME–max 101,9–105,9%) свідчить про надзвичайно високий рівень витривалості КРС. Вентиляційний еквівалент за O_2 зростає до медіани 93,1 % (при варіабельності IQR 88,7–97,2%), відображаючи переважне зниження ефективності використання O_2 в умовах граничної інтенсивності. Найнижчі значення $EqCO_2$ – 91,2 % – характеризують високу ефективність елімінації CO_2 та адекватну вентиляційну компенсацію метаболічного ацидозу. Поєднання максимальної реалізації $\dot{V}O_2$ з відносно стабільними вентиляційними еквівалентами свідчить про значну ємність кардіореспіраторної системи та її здатність підтримувати необхідний рівень газообміну в умовах CP.

3.3.3 Реактивність кардіореспіраторної системи

Дослідження кінетики КРС дозволяє визначити її можливості якісно реагувати переходом від стану спокою до високо інтенсивної роботи. У даному дослідженні було проаналізовано динаміку ключових показників реактивності КРС: часової константи τ_{O_2} , хв (тау, час, за який $\dot{V}O_2$ досягає 65% від $\dot{V}O_{2max}$), латентного періоду O_2 відгуку ($^{TD}O_2$, хв.), часу $^{Tmax}O_2$ досягнення 65% стабільного рівня $\dot{V}O_2$ ($^{T65\%}O_2$, хв), часу підтримки стабільного стану ($^{Tmax}O_2$, хв), показників зміни O_2 за час τ_{O_2} ($\Delta\dot{V}O_2$, л), співвідношення $\frac{\dot{V}O_{2\ max}}{\Delta\dot{V}O_2}$, %. Ці показники (табл. 3.11) характеризують швидкість формування аеробного компоненту енергозабезпечення та ступінь економічності O_2 –транспортної системи, що визначає їх здатність забезпечувати необхідний рівень аеробної потужності.



Примітка 1. – Графік побудований за медіанними показниками $\dot{V}O_2$ –кінетики та $\dot{V}O_2$ л/хв.

Рисунок 3.11 – Показники кінетики споживання кисню у спортсменів

Латентний період кисневого відгуку ($^{TD}O_2$, хв відповідає I фазі $\dot{V}O_2$ –кінетики (кардіодинамічній). Мав медіану 00:40 хв широким діапазоном IQR (00:30–01:23 хв).

Швидкість виходу на рівень $T^{65\%}O_2$ мала IQR 01:05–02:05 хв). Нижчий час досягнення інтенсивності навантаження $65\%\dot{V}O_{2max}$ відображають високу динамічність O_2 реагування, тоді як вищий – більшу залежність від анаеробних механізмів на старті або хронічну втому.

Період τO_2 (від $^{TD}O_2$ до $T^{65\%}O_2$) характеризує II фазу O_2 –кінетики (експоненційного зростання), та є інтегральним маркером швидкості активації КРС. Медіана 00:35 хв та IQR 00:30–00:45 хв відображали високу швидкість включення окисних процесів та ефективну інтеграцію $\dot{Q}$ та $\dot{V}_E$. Міжіндивідуальні відмінності підкреслюють різну здатність спортсменів швидко адаптуватися до наростаючого навантаження.

Об'єм приросту $\dot{V}O_2$ за час τO_2 ($\Delta\dot{V}O_2$, IQR 2,6–2,9 л/хв) характеризує однорідний потужний приріст аеробної функції серед спортсменів, що свідчить про стабільну здатність швидко мобілізувати РМК при зростаючому

навантаженні. Медіанне співвідношення $\dot{V}O_2 \frac{\Delta}{\max}$, % як інтегральний показник ефективності O_2 реагування, становило 51–55%, тобто більше половини максимальної аеробної ємності залучається у короткий період tO_2 .

Час досягнення стабільного стану $\dot{V}O_{2\max}$ (IQR 09:13–11:48 хв) дозволяє оцінити «повільну», лінійну фазу підвищення споживання O_2 , та може характеризувати аеробну ємність та витривалість.

3.3.4 Кислотно–лужний стан крові

Інтегральним відбитком інтенсивності метаболічних проявів, які визначають функціональні реакції організму на м'язові навантаження різної інтенсивності є кислотно–лужний стан крові (КЛС). Отримані параметри (P_{ACO_2} мм рт.ст, La ммоль/л та рН крові) дозволяють оцінити співвідношення накопичення La та респіраторної компенсації метаболічного ацидозу [60]. Показники КЛС фіксувались після кожного тесту, тож моніторинг КЛС включає три етапи:

4. Test 30 (потужність анаеробного гліколізу);
5. $\dot{V}O_{2\max}$ (потужність та ємність анаеробного гліколізу, ефективність компенсації ацидозу);
6. $CP \dot{V}O_2$ (граничні можливості анаеробного гліколізу та компенсації ацидозу).

Після *Test 30* медіанне значення P_{ACO_2} становило 38,0 мм рт.ст., що відображало гіпервентиляцію та компенсацію метаболічного ацидозу. Концентрація La (IQR 5,4–7,4 ммоль/л) підкреслювала активацію анаеробного гліколізу навіть після короткого інтенсивного навантаження. Спостерігався помірний ацидоз (рН IQR 7,29–7,38), частково компенсований вентиляцією та буферними механізмами.

Після досягнення $\dot{V}O_{2\max}$ IQR La 9,6–11,8 (до 12,9 ммоль/л) та рН 7,15 (при $\min$ 7,05), відображали значне накопичення продуктів анаеробного

метаболізму та глибокий ацидоз. Медіанне значення P_{ACO_2} (31,5 мм рт.ст.) вказує на зниження ефективності, видалення CO_2 легеньми.

При досягненні критичної потужності $CP \dot{V}O_2$ медіанне La становило 13,9 ммоль/л (до max 15,6 ммоль/л), pH продовжувало знижуватись 7,08 (IQR 7,03–7,13). P_{ACO_2} 29,3 мм рт.ст. (IQR 26,4–29,9) демонструє максимальну вентиляційну компенсацію КЛС на межі функціональних можливостей.

На основі параметрів моніторингу КЛС спортсмена можливо сформувати кисло-лужний профіль: метод дозволяє оцінити як потужність, так і ємність анаеробного гліколізу, охарактеризувати компенсаторні стратегії в разі настання метаболічного ацидозу. Окрім комплексної оцінки анаеробних механізмів енергозабезпечення, використання КЛП дає змогу отримати інформацію і про стан аеробної витривалості, що розширює діагностичні можливості методу. Даний підхід детально описаний у підрозділах 1.1.6 та 3.4.

3.4 Характеристики функціонального забезпечення різних режимів роботи

У ході проведених досліджень встановлено, що інтеграція показників зовнішнього дихання, серцево-судинної системи, КЗВК, функціональних характеристик та КЛС дозволяє комплексно оцінити адаптивні можливості організму у широкому діапазоні навантажень різної інтенсивності – від короточасних анаеробних зусиль до умов $\dot{V}O_{2max}$ та «критичної потужності». Результати моніторингу в різних режимах роботи демонстрували фазність і послідовність адаптивних змін.

3.4.1 Короткочасне інтенсивне навантаження (Test 30)

Під час роботи *30-секундної роботи максимальної інтенсивності (Test 30)* КРС не встигала розгорнути повний мобілізаційний потенціал через виражену інерційність КРС. Енергозабезпечення визначалося переважно за

рахунок КРФ та анаеробною гліколітичною системами, що зумовлює формування ЕРОС. $\dot{V}O_2$ залишалось низьким (МЕ 0,9 л/хв), а показники $\dot{V}O_2$ мл/кг підтверджували недостатню аеробну активацію, характерну для роботи, де механічна потужність різко випереджає O_2 запит (IQR 9,7–12,1 мл/кг). Це підтверджує значне утворення CO_2 за рахунок гліколізу та буферизації іонів H^+ , що визначало високі значення $\dot{V}CO_2$ і коливання RER (IQR 0,9–1,0). Спостерігається значна варіабельність показників вентиляції та кровотоку ($\dot{V}_A$, V_T , SV , $\dot{Q}$) індивідуальні стратегії пристосування КРС до короткого інтенсивного навантаження, або поточним функціональним станом спортсменів [140, 146]. Висока екстракція O_2 м'язами проявляється зниженими P_vO_2 та S_vO_2 (медіана 16,5 мм рт.ст. та 21% відповідно) і зростанням $C_{a-v}O_2$ до 15,8%, тоді як потоки q_lO_2 , q_AO_2 , q_aO_2 і q_tO_2 залишаються низькими, демонструючи невідповідність між потребою й реальною доставкою O_2 . Збереження P_AO_2 на високому рівні 101,4 мм рт.ст. При зниженій P_aO_2 87,6 мм рт.ст. Свідчить про обмежений час дифузії O_2 та тимчасовий вентиляційно–перфузійний дисбаланс. Вентиляційні еквіваленти за O_2 та CO_2 (34,1 л/л та 34,8 л/л) напруження V_E для компенсації O_2 –дефіциту та виведення надлишку CO_2 . Каскад ефективності транспорту O_2 ($E_f qO_2$, л/л) відображав початкову активацію КРС. Фізіологічно спостерігалось домінування периферичних механізмів споживання O_2 за умов помірної системної доставки.

На початку протоколу варіабельність значень $EqO_2 \frac{Test\ 30}{CPVO_2}$ (IQR 80,0–96,7 %) та $EqCO_2 \frac{Test\ 30}{CPVO_2}$ відображали високий рівень реалізації аеробного потенціалу, що характеризує Test 30 як зону високої напруги механізмів аеробного енергозабезпечення і прояв високої потужності КРС.

3.4.2 Період відновлення після короткочасного інтенсивного навантаження (Test 30Rec)

Під час Test 30Rec реєстрували різке підвищення медіанних значень вентиляційних параметрів: $\dot{V}_E$ до 114,0 л/хв та $\dot{V}_A$ до 85,5 л/хв, що відображало

прискорене видалення метаболічного та «буферного» CO_2 . Спостерігається поглиблення дихання та пришвидшення кровотоку із вираженим розширенням IQR для $\dot{V}_A$, $\dot{Q}$ та V_T , що свідчило про різні компенсаційні стратегії. Споживання O_2 та виділення CO_2 підвищувались до медіани 4,0 л.

Потоки O_2 зростали у 3–6 разів: середнє $q\text{IO}_2$ – до 24,7 л/хв, $q\text{AO}_2$ – до 18,6 л/хв, $q_a\text{O}_2$ – до 5,7 л/хв, $q_t\text{O}_2$ – до 3,8 л/хв, $q_v\text{O}_2$ – до 1,9 л/хв, що відповідало піку ліквідації ЕРОС. Гіпервентиляція підвищувала $P_a\text{O}_2$ до 111,7 мм рт.ст. за майже незмінного артеріального $P\text{O}_2$ (92,8 мм рт.ст.). $P_v\text{O}_2$ зростав до 21,4 мм рт.ст. (діапазон 19,4–23,0), що свідчило про зниження периферичного O_2 –запиту після завершення роботи. Реєструвалося підвищення $S_v\text{O}_2$ до 33% та $S_v\text{O}_2$ до 6,8 об.% на тлі прискореного відновлення КРФ і утилізації La . Підвищення La до 4,4–8,4 ммоль/л, що свідчило про виражене залучення анаеробного гліколізу навіть після нетривалого навантаження. Значення pH (IQR 7,29–7,38) відповідали помірним ацидотичним зрушенням, частково компенсованих за рахунок посилення вентиляції та буферних систем.

Гемодинамічний еквівалент підвищується до 7,4 л/л, а «киснева ціна» серцевого циклу становить до 28,2 мл/скор. Кількість O_2 на дихальний цикл також зростає (O_2RC до 90,8–124,0 мл/д.ц.) відображали максимальне навантаження на дихальну систему у періоді відновлення. Еквівалент $P_a\text{CO}_2$ становив 36,5 мм рт.ст. (max 44,0 мм рт.ст.), що демонструвало посилену чутливість до CO_2 .

3.4.3 Стабільний стан 65% $\dot{V}O_{2max}$

Навантаження на інтенсивності 65% $\dot{V}O_{2max}$ характеризувалося стабільною вентиляційною відповіддю: медіани $\dot{V}_E$ становила 82,0 л/хв, $\dot{V}_A$ – 61,6 л/хв, f зростала до IQR 17–25 д.ц./хв, а V_T до 3,4–4,1 л (IQR). $D_L O_2$ відображало ефективні умови альвеолярно–капілярної дифузії. Гемодинамічні параметри залишалися стабільними: Частота серцевих скорочень досягає IQR 130,6–142,7 скор./хв, а медіани SV – 224,2 мл. Медіанне $\dot{V}O_2$ становило 3,7 л/хв, а RER вказував на домінування процесів окиснення та мінімальний анаеробний внесок у загальне енергозабезпечення роботи. Загалом, параметри КРС у даній зоні відповідали першому вентиляційному порогу (VT1).

Каскад швидкості потоків O_2 на різних рівнях, ME: $q_I O_2$ (17,2 л/хв), $q_A O_2$ (12,9 л/хв) та $q_t O_2$ (3,7 л/хв) відповідали умовам економічного аеробного режиму. $P_A O_2$ знижувався до 97,8 мм рт.ст. унаслідок перерозподілу вентиляційно–перфузійних відношень, тоді як $P_a O_2$ залишався на рівні 88,7 мм рт.ст., що свідчило про достатню ефективність газообміну.

Венозні сатурація та парціальний тиск O_2 підвищувались (ME 40 об.% та 24 мм рт.ст.), а $C_{a-v} O_2$ зменшувався до 11,9 об.%, що вказувало ефективність транспорту O_2 від легень до м'язів. HE досягав максимальних величин (ME 8,5 л/л), що свідчило про значне напруження серцево–судинної системи, тоді як $E q O_2$ відповідав зоні найвищої економічності (22,0 л/л). Така динаміка вказує на більш ранній вихід респіраторної ланки на оптимальний режим транспорту O_2 , що є характерною ознакою адаптації КРС до роботи високої інтенсивності.

Реакції КЛС демонстрували зниження $P_A CO_2$ на тлі гіпервентиляції та зменшення рН до 7,32 (діапазон 7,21–7,42), що відображало легкий метаболічний ацидоз.

3.4.4 Стабільний стан 85% $\dot{V}O_{2max}$

Навантаження на рівні 85% $\dot{V}O_{2max}$ супроводжувалося різким зростанням вентиляції: медіана $\dot{V}_E$ досягала 122 л/хв, $\dot{V}_A$ – 98 л/хв, f підвищувалася до 30,5 д.ц./хв при порівняно невеликому V_T (МЕ 3,9 л). Зниження $D_L O_2$ свідчило про погіршення дифузійної ефективності та ознаки переходу до VT2. Кровотік характеризувався наступними параметрами: HR становив 163 скор./хв, $\dot{Q}$ – 38,1 л/хв., $\dot{V}O_2$ збільшувався до 4,7 л/хв, $\dot{V}CO_2$ – до 3,9 л/хв, а коефіцієнт респіраторного обміну підвищувався.

Потоки qO_2 демонстрували напруження всіх ланок транспорту O_2 . Підвищення $P_A O_2$ до 108 мм рт.ст. відображало зростання $\frac{V_A}{V_E}$, тоді як $P_a O_2$ зберігався на рівні 75 мм рт.ст. Венозна SO_2 до медіани 35%, підтверджуючи посилення периферичної екстракції O_2 . $C_{a-v} O_2$ і $P_v O_2$ практично не змінювалися (12,4 об.% та 22,6 мм рт.хв.), але їх динаміка відповідала переходу до умов O_2 -дефіциту.

Низький $P_A CO_2$ відображав респіраторну компенсацію, тоді як pH знижувався до МЕ 7,24 (min–max 7,13–7,33), вказуючи на виражений метаболічний ацидоз. Показники економичності різко погіршувалися: HE зростав до 8,2, $O_2 RC$ – до 156,3 мл/д.ц., $O_2 HR$ – до 28,7 мл/скор. (медіанні значення).

«Киснева вартість» одного Ватту потужності механічної роботи підвищувалась до IQR 12,7–14,4 мл/кг/хв, головним чином також за рахунок підвищення ефективності альвеолярної ланки, відображаючи ефективний субмаксимальний режим транспорту O_2 .

На цьому рівні навантаження еквіваленти вентиляції вказували на зростання вентиляційної «вартості» доставки O_2 (МЕ EqO_2 27,0 л/л; $EqCO_2$ 31,6 л/л). $EqP_A CO_2$ демонструє поступове зростання (МЕ 3,6 мм рт.ст.).

3.4.5 Стабільний стан $\dot{V}O_{2\max}$

На рівні $\dot{V}O_{2\max}$ величина $\dot{V}_E$ досягала медіанних значень 182 л/хв, а $\dot{V}_A$ – 164 л/хв, що відповідало $\frac{\dot{V}_A}{\dot{V}_E} \approx 89\%$, відображаючи повне залучення вентиляційних резервів. Частота дихання підвищувалася до 48 д.ц./хв, а V_T – до 3,8 л. Показник D_{LO_2} демонструє зменшення ефективності утилізації O_2 артеріальним руслом. HR сягала IQR 180–190 скор./хв., забезпечуючи $\dot{Q}$ 34–41,5 л/хв. Це були граничні фізіологічні можливості КРС для даної групи спортсменів.

Верхній діапазон (Q_3 –max) для $\dot{V}O_2$ становив 5,6–6,2 л/хв, а для $\dot{V}CO_2$ 6,3–6,8 л/хв, що відображає рівень газообміну, близький до максимальних можливостей людського організму [70]. RER перевищував 1,1, що було ознакою максимальної гліколітичної активності та інтенсивної буферизації іонів H^+ .

Показники РМК відображали максимальну взаємодію вентиляційної, гемодинамічної та периферичної ланок транспорту O_2 , при активному залученні компенсаторних механізмів. На піку навантаження фіксувалось зниження PvO_2 до 17,4 мм рт. ст. та SvO_2 до 20 об.%, відповідало максимальній тканинній екстракції O_2 . Різниця $C_{a-v}O_2$ досягала 14,1 об.%, підтверджуючи глибоку десатурацію венозної крові.

Середня концентрація La перевищувала 10 ммоль/л (min–max 8,4–12,9 ммоль/л), а рН знижувався до 7,15 (min – 7,05), що відповідало тяжкому метаболічному ацидозу. Це підтверджується подальшим зниженням P_ACO_2 (ME 31,5 мм рт.ст).

Медіана значень показника HE становила 7,2 л/л, а O_2HR зростав до 29,9 мл/скор., тоді як O_2RC знижувався до 115,9 мл, а EqO_2 (33,1 л/л) підтверджував значну вартість $\dot{V}O_2$ для вентиляції. Вентиляційний еквівалент $EqCO_2$ залишався стабільним (30,2 л/л). Усе це свідчило про перерозподіл навантаження між системами вентиляції та кровотоку та вказувало на провідну роль серцево–судинної ланки у досягненні пікової продуктивності.

O_2 –вартість механічної роботи ($q_t O_2$) сягала IQR 13,9–14,6 мл/W, що є максимальними значеннями за тест. $E_{qP_A CO_2}$ зростав до 5,8 л/л, що відповідало вираженій гіпервентиляції, але при збереженій здатності видаляти CO_2 . Зниження ефективності РМК на $E_{f q_a O_2}$ до 1,3 і $E_{f q_v O_2}$ до 0,3 відображало граничну периферичну десатурацію та майже повне вилучення O_2 м'язами.

3.4.6 Навантаження «критичної потужності» (СР $\dot{V}O_2$)

У режимі СР показники вентиляції досягали межових рівнів: $\dot{V}_E$ становив 201 л/116ас, відношення альвеолярної та легеневої вентиляції зберігалось на рівні $\dot{V}O_{2max}$, f підвищувався до 52 д.ц./хв, тоді як середній V_T утримувався на стабільному рівні 3,5–4,1 л. $D_L O_2$ знижувався, що свідчило про роботу дифузійних механізмів на межі. Показники кровотоку також досягали пікових значень: IQR HR 179,2–191,6 скор./хв, $\dot{Q}$ 36,2–42,2 л/хв. Показники $\dot{V}O_2$ та $\dot{V}CO_2$ залишалися близькими до $\dot{V}O_{2max}$ (5,5 та 5,7 л), а RER демонстрував виділення неметаболічного CO_2 .

Параметри РМК знаходились на близькому до максимального рівні: $q_t O_2$ становив 42,2 л/хв, але при цьому альвеолярно–артеріальна різниця у qO_2 каскаді збільшилась, що свідчить про досягнення межі ефективності легеневої перфузії в результаті пришвидшення кровообігу. Це підтверджували значення альвеолярного та артеріального PO_2 (ME 123 та 50 мм рт.ст.), що залишалися на рівні $\dot{V}O_{2max}$. Венозні парціальний тиск $P_v O_2$ (17,2 мм рт.ст.) та сатурація $S_v O_2$ (21%) демонстрували незначну варіабельність та підтверджували максимальне вилучення O_2 м'язами.

Висока концентрація La (IQR 12,7–14,3, max 15,6 ммоль/л) та зниження рН до критичного рівня (IQR 7,03–7,13) відображали граничне напруження буферних систем. Найнижчі значення $P_A CO_2$ вказували на граничний рівень респіраторної компенсації ацидозу.

E_{qCO_2} та E_{qO_2} досягали максимальних значень (33,1 та 35,6% відповідно), що відображало характерну для СР неекономічність. Артеріальна, тканинна та венозна інтенсивність дещо знижувались, що відображало

функціонування РМК на межі. Відношення $E_{q\dot{V}CO_2} \frac{VO_{2max}}{CP VO_2}$ та $E_{q\dot{V}O_2} \frac{VO_{2max}}{CP VO_2}$ становили 88,7–97,2% та 84,8–92,8% , а деякі значення $\dot{V}O_2 \frac{VO_{2max}}{CP VO_2}$ становили 101,9–105,9% (ME–max), що відображає наявність значного аеробного резерву під час виконання роботи при граничному вичерпанні фізіологічних ресурсів та значному стомленні.

Загалом режим CP характеризувався задоволенням O_2 запиту, за рахунок мобілізації усіх резервів респіраторної та гемодинамічної систем, що відповідало роботі на межі фізіологічної витривалості.

3.5 Модельні характеристики фізіологічних та функціональних характеристик спортсменів

У підрозділі представлено узагальнені модельні характеристики фізіологічних і функціональних показників спортсменів, що відображають системний рівень адаптації організму до напруженої м'язової діяльності. Формування модельних параметрів ґрунтується на кватильному методі статистичної обробки показників (зовнішнього дихання, кровотоку, КЗВК, газообміну, анаеробного енергозабезпечення та їх функціональних характеристик), які у своїй сукупності визначають ефективність енергозабезпечення та спеціальної працездатності. Виділення діапазонів модельних значень дає можливість охарактеризувати узгодженість між окремими ланками системи масопереносу O_2 , оцінити рівень функціональної підготовленості спортсменів, реактивність регуляторних механізмів і резервні можливості організму в умовах зростаючих фізичних навантажень, а також обґрунтувати критерії контролю та прогнозування працездатності.

У таблиці 3.1 наведено модельні характеристики фізіологічного та функціонального стану спортсменів, що відображають узгоджену роботу системи зовнішнього дихання, кровообігу, кисневозв'язувальних властивостей крові та метаболічного забезпечення м'язової діяльності.

Представлені діапазони показників характеризують особливості транспорту, утилізації O_2 , а також реактивність КРС й резервні можливості організму при інтенсивному фізичному навантаженні.

Таблиця 3.1 – Модельні характеристики спортсменів, що були визначені в процесі дослідження

Система зовнішнього дихання							
	$\dot{V}_E$	$\dot{V}_A$	$\dot{V}_A/\dot{V}_E$	f	Vt	F_{eO_2}	D_{LO_2}
Діапазон	180–192	162–171	88–91	44–55	3,4–4,0	17,9–18,1	72,6–90,9
Одиниці	л/хв.	л/хв	%	д.ц./хв	л	%	мл/мм.рт.ст
Кровообіг та газообмін							
	HR	SV	$\dot{Q}$	$\dot{V}O_2$	$\dot{V}CO_2$		
Діапазон	181–191	199–214	36–41	5,3–5,6	5,7–6,3		
Одиниці	скор./хв	л/хв	л/хв	л/хв	л/хв		
Кисневозв’язувальні властивості крові							
	S_{aO_2}	S_{vO_2}	Hb	C_{aO_2}	C_{a-vO_2}	C_{vO_2}	
Діапазон	82–84	19–21	14,7–16,6	16,6–18,9	13,0–15,1	3,3–3,9	
Одиниці	%		г.%	об.%			
Економічність КРС							
	HE	O_2HR	O_2RC	EqP_{ACO_2}	EqO_2	$EqCO_2$	
Діапазон	6,6–7,7	28,2–30,5	101,5–124,5	5,5–6,3	32,4–34,4	29,2–32,1	
Одиниці	%	мл/хв	мл/д.ц	л/мм рт.ст	л/л		
Об’ємні швидкості транспорту O_2							
	q_iO_2	q_AO_2	q_aO_2	$q_tO_2 (VO_2)$	q_vO_2		
Діапазон	37,7–40,3	34,0–35,9	6,7–7,2	5,3–5,6	1,33–1,50		
Одиниці	л/хв						
Інтенсивність переміщення O_2 (q_iO_2/m)							
	Int q_iO_2	Int q_AO_2	Int q_aO_2	Int q_tO_2	Int q_vO_2		
Діапазон	425–483	384–446	79–89	62–70	15–18		
Одиниці	мл/хв./кг						

Продовження таблиці 3.1

Парціальні тиски, коефіцієнти транспорту та утилізації O_2

	P_{aO_2}	P_{vO_2}	P_{aCO_2}	$KULO_2$	$O_{2ER L}$	$O_{2ER t}$
Діапазон	50,9–53,6	16,9–17,8	29,9–33,2	13,8–14,7	54,4–58,1	78,7–80,7
Одиниці	мм рт.ст.			%		

Ефективність транспорту O_2 (qO_2/qvO_2)

	$Ef q_{lO_2}$	$Ef q_{AO_2}$	$Ef q_{aO_2}$	$Ef q_{vO_2}$
Діапазон	6,8–7,2	6,2–6,5	1,2–1,3	0,2–0,3
Одиниці	л/л			

Киснева вартість робочої потужності ($qO_2/Watt$)

	Wq_{lO_2}	Wq_{AO_2}	Wq_{aO_2}	Wq_{tO_2}	Wq_{vO_2}
Діапазон	98,1–102,1	87,4–92,8	17,4–18,7	13,9–14,6	3,4–4,1
Одиниці	мл/Watt				

Реактивність КРС

	TD_{O_2}	τ_{O_2}	$T_{65\%O_2}$	$T \dot{V}O_{2max}$	$\dot{V}O_{2baseline}$	$\Delta \dot{V}O_2$	$\Delta \dot{V}O_2/\dot{V}O_{2max}$
Діапазон	00:29–00:52	00:29–00:40	00:59–01:42	9:20–11:00	0,7–0,9	2,6–2,9	48,3–51,1
Одиниці	хв:с				л/хв		%

Кислотно–лужний стан

	P_{aCO_2}	La	pH	$\%La / CP$	$\Delta La/CP$	$\Delta pH/CP$
Діапазон	29,9–33,2	9,6–11,8	7,1–7,2	78,2–86,2	1,9–3,0	0,25–0,30
Одиниці	мм рт.ст.	ммоль/л	од.	%	ммоль/л	од.pH

Резервні можливості спортсменів ($SSSt \dot{V}O_{2max} / CP$)

	Eq_{O_2}	Eq_{CO_2}	$\dot{V}O_2$
Діапазон	88,7–97,2	84,8–92,8	98,2–102,0
Одиниці	%		

Модельні характеристики формувалися за міжквартильним розмахом значень кожного показника.

Висновки до розділу 3

Проведений аналіз властивостей КРС, кисневозв'язувальної функції крові, КЛС та функціональних параметрів дозволив встановити узгоджену реакцію дихальної, серцево–судинної та метаболічної систем на модуляцію

фізичного навантаження. Отримані дані свідчать про формування комплексної адаптації, що характеризується ефективним забезпеченням робочих м'язів O_2 і виділенням VCO_2 .

Параметри споживання O_2 та утворення CO_2 вказують на збільшення інтенсивності аеробних процесів та прогресивне залучення буферних механізмів організму. Стабільне або помірно підвищене значення RER демонструє збалансований перехід між типами енергозабезпечення.

Оцінка КЛС (pH , P_aCO_2 , La) підтверджує наявність компенсованого метаболічно–респіраторного зсуву без критичних для спортсменів високої кваліфікації відхилень внутрішнього середовища. Підвищення P_aCO_2 та La у межах фізіологічної норми відображає адекватну інтенсивність роботи та ефективну участь буферних систем у підтриманні кислотно–лужного гомеостазу.

Динаміка показників каскаду парціальних тисків кисню (P_AO_2 , P_aO_2 , P_vO_2) демонструє збереження оптимального альвеолярно–капілярного градієнта та ефективне дифузійне забезпечення газообміну. Зниження P_vO_2 при навантаженні свідчить про зростання O_2 відбору м'язовою тканиною та відповідно підвищення коефіцієнта екстракції O_2 . Динаміка характеристик каскаду qO_2 відображає ефективний альвеолярно–капілярний транспорт і високий рівень O_2 відбору тканинами без ознак дифузійних чи конвекційних обмежень.

Показники кількісного масопереносу O_2 (альвеолярний, інтерстиціальний, артеріальний, венозний та тканинний потоки) демонструють узгоджений характер дифузії на всіх етапах « O_2 каскаду». Це засвідчує відсутність лімітуючих ланок у системі забезпечення тканин O_2 за умов тестового навантаження.

Сукупність показників свідчить про збалансовану роботу інтегрованої системи забезпечення O_2 та достатній рівень функціональної підготовленості обстежених спортсменів, що дозволяє їм підтримувати стійкі фізіологічні параметри під впливом навантаження при збереженні інтенсивності

механічної роботи. Отримані результати вказують на збалансовану роботу систем дихання, кровообігу та метаболізму спортсменів, що проявляється оптимальними значеннями $\dot{V}O_2$, адекватними змінами гемодинамічних показників та стабільністю гомеостатичних параметрів.

Матеріали третього розділу опубліковані у працях автора [28, 138, 139, 146, 153, 158, 159].

РОЗДІЛ 4

ТИПОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОРТСМЕНІВ

Після проведення групового моніторингу фізіологічних та функціональних показників, наступним етапом дослідження став індивідуальний аналіз структури функціонального забезпечення та формування типологічних особливостей спортсменів.

В якості прикладу для демонстрації можливостей моніторингу було обрано три спортсмени (А, Б, С), які продемонстрували високі результати у степ-тесті за показниками ергометричної потужності роботи (650–750 W) та $\text{VO}_{2\text{max}}$ (4,9–6,2 л/хв), але мали відмінні показники респіраторної, гемодинамічної ланок та La . Аналіз здійснювався для кожного спортсмена окремо з урахуванням динаміки та абсолютних значень ключових показників, які були проаналізовані з врахуванням статистичних характеристик вибірки.

Також, отримані дані дали змогу охарактеризувати спортсменів відповідно до методик, описаних у підрозділі 2.2.1 (Тип адаптації та реактивність КРС; Тип формування та компенсації ГН; Кислотно–лужний профіль; Схильність до певного типу м'язової роботи.).

З метою стандартизації індивідуальних показників, забезпечення коректного індивідуального порівняння, візуалізації функціональних профілів та інтегральної оцінки окремих функціональних блоків було застосовано метод QSGM, детально описаний у підрозділі 2.2.7. Перевагою цього методу є простота оцінювання узгодженості функціонування різних фізіологічних систем і виявлення можливих порушень взаємозв'язків між ними під час виконання навантажень різної інтенсивності. *Таблиці, що містить експериментальні дані, міститься у Додатку II.* Дослідження окремих блоків спрямоване на оцінку окремої функціональної системи та її характеристик, таких як потужність, економічність, реактивність тощо, а інтегральний аналіз

дає можливість характеризувати взаємодію з між різними системами. Такий підхід дає змогу визначити ступінь збалансованості умов модюляції навантаження, а також виявити компенсаторні й дезадаптаційні реакції, що відображають адаптивну відповідь.

Кожен підрозділ присвячений окремому блоку показників, що характеризують відповідну функціональну систему або її функціональний компонент.

4.1 Фізіологічні показники кардіо–респіраторної системи та кисневозв’язувальних властивостей крові

4.1.1 Газообмін

У таблиці 4.1 надані показники газообміну спортсменів ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, RER). Оцінка 5 відображає максимальне значення усіх показників даної таблиці.

Спортсмен В характеризувався стабільно високими оцінками $\dot{V}O_2$ і $\dot{V}CO_2$ на всіх етапах тестування (≈ 5 балів, при $\dot{V}O_{2max}$ та $\dot{V}CO_{2max}$ 6,4 л та 6,8 л відповідно), що свідчить про високий функціональний резерв та ефективну інтеграцію процесів масопереносу й утилізації O_2 . Різниця $\dot{V}O_2$ та $\dot{V}O_2/kg$ свідчить може підкреслювати оптимальну масу тіла спортсмена.

У спортсмена С показники $\dot{V}O_2$ та $\dot{V}CO_2$ зростали поступово та зберігали помірний рівень на всіх етапах (від 2 до 3 балів). Інтегральна оцінка газообміну була нижчою порівняно зі спортсменом В.

Спортсмен А, навпаки, характеризувався нижчими та більш варіабельними оцінками $\dot{V}O_2$ і $\dot{V}CO_2$ протягом усього протоколу модюляції навантаження (1–3 бали).

Значення RER, як показнику газообміну, не оцінювалися балами.

Таблиця 4.1 – Оцінки значень параметрів газообміну спортсменів А, В та С (споживання кисню, виділення вуглекислого газу)

		$\dot{V}O_2$		$\dot{V}CO_2$	Інтегральний бал
A	Test 30	1	2	2	2,3
	Test 30Rec	3	4	3	3,5
	65% $\dot{V}O_{2max}$	1	2	1	1,5
	85% $\dot{V}O_{2max}$	1	2	1	2,3
	$\dot{V}O_{2max}$	1	2	1	1,8
	CP $\dot{V}O_2$	1	2	3	2,8

B	Test 30	4	4	3	3,0
	Test 30Rec	5	5	5	4,5
	65% $\dot{V}O_{2max}$	5	5	4	4,3
	85% $\dot{V}O_{2max}$	5	5	5	4,0
	$\dot{V}O_{2max}$	5	5	5	4,8
	CP $\dot{V}O_2$	5	5	5	4,3

C	Test 30	2	2	2	2,0
	Test 30Rec	2	2	2	1,8
	65% $\dot{V}O_{2max}$	3	3	4	2,8
	85% $\dot{V}O_{2max}$	3	3	3	3,0
	$\dot{V}O_{2max}$	3	3	3	3,5
	CP $\dot{V}O_2$	3	3	2	2,8

Примітка 1. – Тут і далі кольорове кодування у таблицях використовується в рамках методу QSGM поряд із формалізованою оцінкою значень параметрів з метою зниження когнітивного навантаження та полегшення виявлення закономірностей у масивах фізіологічних даних.

4.1.2 Система вентиляції, дифузія, та серцево–судинна система та тип адаптації до інтенсивного м'язового навантаження

За даними таблиці показників системи зовнішнього дихання (табл. 4.2), вентиляційна відповідь на модуляцію навантаження характеризувалася вираженими індивідуальними особливостями та загалом узгоджувалася з показниками газообміну. Бальна оцінка параметрів відображала ефективність вентиляційної стратегії: 5 балів відповідали максимальним значенням $\dot{V}_E$, $\dot{V}_A$, V_t та D_{LO_2} за мінімальних значень f і F_{eO_2} , тоді як нижчі бали вказували на менш економічні або асинхронні варіанти вентиляційної відповіді.

Таблиця 4.2 – Оцінки значень фізіологічних параметрів вентиляції та дифузії спортсменів А, В та С

		$\dot{V}_E$	$\dot{V}_A$	$\frac{\dot{V}_A}{\dot{V}_E}$	f	V_t	F_{eO_2}	D_{LO_2}	Інтегральна оцінка
А	Test 30	2	1	1	4	1	3	4	2,3
	Test 30Rec	3	3	3	1	2	3	3	2,6
	65% $\dot{V}O_{2max}$	1	1	2	5	5	3	5	3,1
	85% $\dot{V}O_{2max}$	1	1	5	5	3	5	2	3,1
	$\dot{V}O_{2max}$	1	2	5	5	5	4	2	3,4
	CP $\dot{V}O_2$	1	2	5	5	5	2	2	3,1
В	Test 30	3	3	3	3	3	4	4	3,3
	Test 30Rec	5	5	5	4	5	3	4	4,4
	65% $\dot{V}O_{2max}$	4	5	5	4	5	3	2	4,0
	85% $\dot{V}O_{2max}$	5	5	5	3	5	2	3	4,0
	$\dot{V}O_{2max}$	5	5	4	4	5	3	5	4,4
	CP $\dot{V}O_2$	4	5	4	3	4	5	5	4,3
С	Test 30	2	2	2	5	3	4	5	3,3
	Test 30Rec	1	1	3	3	1	5	5	2,7
	65% $\dot{V}O_{2max}$	3	3	4	1	1	2	1	2,1
	85% $\dot{V}O_{2max}$	3	3	2	2	3	3	3	2,7
	$\dot{V}O_{2max}$	4	4	1	1	2	1	5	2,6
	CP $\dot{V}O_2$	3	2	3	4	3	3	5	3,3

У спортсмена В відзначалася найбільш узгоджена та ефективна вентиляційна адаптація в усьому діапазоні навантажень. Уже в Test 30 інтегральна оцінка становила 3,3 бали, з подальшим зростанням у фазі відновлення до 4,4 бала, що відображало суттєве підвищення $\dot{V}_E$ та $\dot{V}_A$ (по 5 балів) у поєднанні з високим V_t і D_{LO_2} . При 65% та 85% $\dot{V}O_{2max}$ інтегральні оцінки стабільно утримувалися на рівні 4 бали, що свідчило про ефективний альвеолярний газообмін ($\dot{V}_A / \dot{V}_E = 5$ балів) без надмірного зростання f . На рівнях $\dot{V}O_{2max}$ та CP $\dot{V}O_2$ високі оцінки $\dot{V}_E$, $\dot{V}_A$, $\dot{V}_t$ і D_{LO_2} (4–5 балів) поєднувалися з відносно низькими значеннями F_{eO_2} . Це узгоджується з високими $\dot{V}O_2$ та $\dot{V}CO_2$ і вказує не тільки на оптимальну інтеграцію вентиляційної та метаболічної ланок, але й функціональні резерви на рівні тканинної екстракції O_2 .

Спортсмен А демонстрував менш інтенсивну, але частково компенсаторну вентиляційну стратегію. У Test 30 та Test 30_{REST} інтегральні оцінки становили 2,3 та 2,6 бала відповідно, що відображало обмежене зростання $\dot{V}_E$ та $\dot{V}_A$ (1–3 бали) на тлі підвищення частоти дихання ($f = 4$ бали у Test 30). При 65% $\dot{V}O_{2max}$ інтегральна оцінка зростала до 3,1 бала за рахунок максимальних значень V_t та D_{LO_2} (по 5 балів), попри низькі оцінки $\dot{V}_E$ і $\dot{V}_A$. Аналогічна структура зберігалася при 85% $\dot{V}O_{2max}$ та $\dot{V}O_{2max}$ (3,1–3,4 бала), де високі значення $\dot{V}_A / \dot{V}_E$ та V_t частково компенсували обмежену вентиляційну потужність. У тесті CP $\dot{V}O_2$ інтегральна оцінка залишалася на рівні 3,1 бала, що вказує на відносну стабільність вентиляційної відповіді, однак з ознаками обмеженої узгодженості між вентиляційною та метаболічною складовими газообміну при граничній інтенсивності.

У спортсмена С вентиляційна відповідь мала більш економний, але менш потужний характер. У Test 30 інтегральна оцінка становила 3,3 бали, що було зумовлено високими оцінками f та D_{LO_2} (по 5 балів) при помірних значеннях $\dot{V}_E$ і $\dot{V}_A$. У фазі відновлення (Test 30Rec) інтегральна оцінка знижувалася до 2,7 балів через зменшення $\dot{V}_E$, $\dot{V}_A$ та V_t (1 бал), незважаючи на збереження високої дифузійної здатності легень. При 65% $\dot{V}O_{2max}$ реєструвалося мінімальне інтегральне значення (2,1 бала), що відображало обмежене залучення вентиляційного об'єму та низькі значення D_{LO_2} . У режимах 85% $\dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}O_{2max}$ та CP $\dot{V}O_2$ інтегральні оцінки коливалися в межах 2,6–3,3 бала, що свідчило про стабільну, але менш адаптивну вентиляційну відповідь із переважанням частотного компонента та обмеженим зростанням V_t .

Показники роботи серцево–судинної системи (табл. 4.3) також було розглянуто у спортсменів А, В та С. Вищі оцінки надані більшим значенням параметрів SV та $\dot{Q}$, тоді як вищі оцінки HR отримали менші значення.

Таблиця 4.3 – Оцінки значень параметрів серцево–судинної системи

		HR	$\dot{Q}$	$\dot{Q}$	Інтегральний бал
A	Test 30	2	2	1	1,7
	Test 30Rec	1	3	3	2,3
	65% $\dot{V}O_2$	3	1	1	1,7
	85% $\dot{V}O_2$	5	5	5	5,0
	$\dot{V}O_{2max}$	3	3	3	3,0
	CP $\dot{V}O_2$	3	1	2	2,0
B	Test 30	3	5	5	4,3
	Test 30Rec	4	5	5	4,7
	65% $\dot{V}O_2$	2	5	5	4,0
	85% $\dot{V}O_2$	2	5	5	4,0
	$\dot{V}O_{2max}$	5	5	5	5,0
	CP $\dot{V}O_2$	1	5	5	3,7
C	Test 30	4	3	3	3,3
	Test 30Rec	2	2	2	2,0
	65% $\dot{V}O_2$	2	2	2	2,0
	85% $\dot{V}O_2$	3	2	3	2,7
	$\dot{V}O_{2max}$	4	1	2	2,3
	CP $\dot{V}O_2$	2	2	3	2,3

У спортсмена В відзначалися максимальні оцінки SV і $\dot{Q}$ (5 балів), що характеризувало стабільне та прогресивне зростання уже з першого тестового навантаження (максимальні $SV \approx 270$ мл, $\dot{Q} \approx 40$ л/хв). При цьому динаміка HR може свідчити про резерви збільшення об'ємного кровотоку за рахунок SV, що є найбільш економічним варіантом адаптації серцево–судинної системи.

У спортсмена С при зростанні навантаження спостерігалось поступове підвищення $\dot{Q}$ без різких піків ($\dot{Q}_{max}$ 36 л/хв), при помірних оцінках 2–3 бали. Такий характер відповіді узгоджується з помірними значеннями $\dot{V}O_2$ і $\dot{V}CO_2$, що вказує на збалансовану, але менш потужну реалізацію гемодинамічного потенціалу.

Спортсмен А, навпаки, демонстрував більш варіабельну динаміку серцево–судинної відповіді. Оцінки 1–3 бали демонстрували усі показники до рівня 85% $\dot{V}O_{2max}$, де оцінка була максимальною, однак із зростанням навантаження та у тесті CP спостерігається зниження SV та $\dot{Q}$ на тлі

подальшого зростання HR. Це може вказувати на великий резерв системи кровотоку, однак із затримкою розгортання та зниженням швидкості $\dot{Q}$ в умовах втоми.

4.1.3 Тип адаптації кардіореспіраторної системи до інтенсивного м'язового навантаження

У спортсмена А зі зростанням інтенсивності навантаження відзначалося значне підвищення $\dot{V}_E$ до 158–183 л/хв у поєднанні з високими значеннями $\dot{V}_A$ та збереженням оптимального співвідношення $\dot{V}_A/\dot{V}_E$ (90–92%), що свідчило про ефективну альвеолярну вентиляцію без виражених вентиляційних втрат; частота дихання зростала пропорційно навантаженню, тоді як V_t збільшувався помірно, що відповідало економічному типу респіраторної відповіді. Дифузійна здатність легень істотно зростала на субмаксимальному рівні з подальшою відносною стабілізацією на $\dot{V}O_{2max}$ і в СР, тоді як хвилинний об'єм кровообігу збільшувався переважно за рахунок приросту HR при зниженні SV, що вказувало на домінування кардіальної ланки транспорту O_2 ; енергозабезпечення супроводжувалося зростанням частки анаеробного метаболізму, що може вказувати на периферичне лімітування утилізації O_2 .

Легенева та альвеолярна вентиляція у спортсмена В демонстрували узгоджене пропорційне зростання, та високу $\dot{V}_A/\dot{V}_E$ (79–91%), при збільшенні дихального об'єму до 5,0–5,3 л і контрольованому прирості частоти дихання, що поєднувалося з високою та стабільною дифузійною здатністю легень і $\dot{Q}$, сформованим як за рахунок HR, так і завдяки адекватному підвищенню SV без його зниження на критичних рівнях; високі значення $\dot{V}O_2$ (до 6,2–6,4 л/хв) при стабілізації RQ у СР відображали ефективну аеробну реалізацію навантаження без додаткового посилення метаболічного ацидозу, що свідчило про системну інтеграцію вентиляційної, дифузійної та гемодинамічної ланок і високу економічність функціонування, що відповідало комбінованому (найбільш ефективному) типу.

У спортсмена С вентиляційна відповідь характеризувалася значним зростанням $\dot{V}_E$ при менш ефективному використанні альвеолярної вентиляції ($\dot{V}_A/\dot{V}_E$ 75–86%) та вираженим підвищенням частоти дихання до 58 д.ц./хв на рівні $\dot{V}O_{2max}$, що мало ознаки менш економічного типу дихання; дихальний об'єм зростав, але залишався нижчим, ніж у спортсмена В, дифузійна здатність легень підвищувалася зі зростанням потужності роботи, однак її рівень був помірним і поступався іншим спортсменам, тоді як об'єм кровообігу збільшувався переважно за рахунок HR при відносно обмеженому прирості ударного об'єму на граничних режимах; попри високі значення $\dot{V}O_{2max}$ (5,5 л/хв), такий профіль відображав переважання дихальної компенсації. Таким чином, у спортсмена А домінував кардіальний механізм забезпечення транспорту O_2 з ймовірним периферичним лімітуванням його утилізації, у спортсмена В відзначалася системна інтеграція вентиляційних і гемодинамічних процесів із найвищою економічністю адаптації, тоді як у спортсмена С провідною була вентиляційна ланка з відносно менш економічним типом дихання та помірними гемодинамічними обмеженнями.

4.1.4 Тип реактивності кардіореспіраторної системи

Мінімальні значення показників $\dot{V}O_2$ –кінетики $^{TD}O_2$, τO_2 , $^{T65\%}O_2$ та $^{Tmax}O_2$ відображені максимальними балами. Дельта $\dot{V}O_2$ та відсоток його від $\dot{V}O_{2max}$ (табл. 4.5).

У спортсмена А спостерігалися помірні оцінки параметрів $\dot{V}O_2$ –кінетики. Максимальна оцінка τO_2 (5 балів) свідчила про високу швидкість виходу на $\dot{V}O_2$ при підвищенні інтенсивності навантаження. $^{TD}O_2$, $^{T65\%}O_2$ і $^{Tmax}O_2$ (2–3 бали) відображали помірну швидкість включення КРС. $\Delta\dot{V}O_2$ була низькою (2 бали), проте співвідношення $\dot{V}O_2 \frac{\Delta}{max}$ (4 бали) свідчило про здатність досягати високих значень $\dot{V}O_2$ при поступово зростаючому навантаженні. Це характеризує гіперреактивний тип КРС.

Таблиця 4.5 – Оцінки $\dot{V}O_2$ –кінетики

Спортсмен	TD_{O_2}	τ_{O_2}	$T_{65\%O_2}$	$T_{max}O_2$	$\Delta\dot{V}O_2$	$VO_2 \frac{\Delta}{max}$	Інтегральний бал
А	3	5	4	3	2	4	3,5
В	1	3	1	1	5	3	2,3
С	2	1	2	3	3	3	2,3

Спортсмен В демонстрував високий приріст $\Delta\dot{V}O_2$ (5 балів). Решта показників була нижчою. Часова константа τ_{O_2} отримала 3 бали, $TD\dot{V}O_2$, $T_{65\%O_2}$ та $T_{max}O_2$ лише по 1 балу, що свідчило про потужний, але довготривалий приріст $\dot{V}O_2$, та демонструвало швидку та потужну відповідь КРС на навантаження, віднесену до гіпо– або нормореактивного типу.

У спортсмена С спостерігалася τ_{O_2} (1 бал), TD_{O_2} (2 бали), $T_{max}O_2$ (3 бали) вказують на повільне, але лінійне включення системи O_2 –забезпечення при відповідному наростанні $\dot{V}O_2$. Амплітуда $\Delta\dot{V}O_2$ та співвідношення $VO_2 \frac{\Delta}{max}$ оцінювалися на рівні 3 балів, що відображало помірний рівень приросту $\dot{V}O_2$ за час його експоненційного зростання (3 бали), що може відповідати гіпореактивному або змішаному типу.

4.1.5 Кисневозв’язувальні властивості крові

За даними таблиці показників КЗВК (табл. 4.6), відповідь системи транспорту O_2 на зростаюче навантаження також мала виражений індивідуальний характер. Показники артеріальної сатурації та вмісту O_2 , Нб, $C_{max}O_2$ та артеріально–венозна різниця за вмістом O_2 оцінювались балом 5 за максимальний показник; венозні сатурація та вміст O_2 – за мінімальний.

У спортсмена С КЗВК характеризувалися найбільш збалансованою та економною відповіддю. Значення C_aO_2 залишалися високими (3–5 балів) збалансованій роботі КРС. $C_{a-v}O_2$ збільшувався від початку до кінця протокому модуляції навантаження (з 3 до 5 балів, $C_{a-v}O_2$ 15,8 об.%), що вказує на швидке розгортання механізмів O_2 –екстракції та високу здатність до відбору O_2 працюючими м’язами. C_vO_2 при цьому може свідчити про певний резерв до

збільшення $\dot{V}O_2$ за рахунок покращення умов його доставки. Це узгоджувалось з помірними значеннями $\dot{V}O_2$ та RER (блок Газообмін).

Таблиця 4.6 – Оцінки значень параметрів кисневозв'язувальних властивостей крові

		S_aO_2	S_vO_2	Hb	C_{max}	C_aO_2	$C_{a-v}O_2$	C_vO_2	Інт. бал
А	Test 30	2	5	3	3	3	3	5	3,4
	Test 30Rec	2	4		3	3	3	4	3,1
	65% $\dot{V}O_2$	4	3		3	3	2	3	3,0
	85% $\dot{V}O_2$	1	1		3	2	1	1	1,7
	$\dot{V}O_{2max}$	2	1		3	3	2	2	2,3
	CP $\dot{V}O_2$	5	3		3	3	3	3	3,3
В	Test 30	1	4	2	2	2	2	4	2,4
	Test 30Rec	4	5		2	2	4	5	3,4
	65% $\dot{V}O_2$	1	5		2	2	3	5	2,9
	85% $\dot{V}O_2$	2	3		2	2	2	4	2,4
	$\dot{V}O_{2max}$	4	5		2	3	3	5	3,4
	CP $\dot{V}O_2$	2	1		2	2	2	4	2,1
С	Test 30	2	1	3	3	3	3	2	2,4
	Test 30Rec	2	3		3	3	4	3	3,0
	65% $\dot{V}O_2$	1	4		3	3	5	3	3,1
	85% $\dot{V}O_2$	4	3		3	3	4	3	3,3
	$\dot{V}O_{2max}$	5	4		3	5	5	3	4,0
	CP $\dot{V}O_2$	5	4		3	5	5	1	3,7

У спортсмена В відзначалася помірна здатність до екстракції O_2 тканинами, що проявлялося оцінками $C_{a-v}O_2$ (≈ 3 бали), що узгоджено з динамікою S_vO_2 . Таке поєднання свідчить про ефективну доставку при великому O_2 запиті та добре узгоджується з високими значеннями $\dot{V}O_2$ та $\dot{Q}$, зафіксованими у цього спортсмена.

Спортсмен А, навпаки, демонстрував менш стабільну реалізацію КЗБК. Протягом модуляції навантаження спостерігалась нестабільна динаміка S_aO_2 , у поєднанні з низькими оцінками $C_{a-v}O_2$ (1–3 бали) та поступовим зниженням

C_{VO_2} (з 5 до 3 балів), можуть бути результатом обмеження з боку КРС та підтверджується низькими оцінками показнику $\dot{V}O_2$ у всіх тестах.

4.2 Режими масопереносу кисню

Для дослідження РМК під час модуляції навантаження проведений аналіз каскадів об'ємної швидкості (q_{O_2}), парціальних тисків (P_{O_2}), ефективності та інтенсивності переміщення O_2 в організмі (q_{O_2}/q_{tO_2} та q_{O_2}/m), а також «кисневої вартості» потужності механічної роботи (q_{O_2}/W).

4.2.1 Об'ємні швидкості масопереносу кисню

У таблиці 4.7 надані оцінки q_{O_2} у спортсменів А, В та С. Вища об'ємна швидкість транспорту O_2 характеризується вищим балом.

Таблиця 4.7 – Оцінки швидкості масопереносу кисню в організмі

		q_{lO_2}	q_{AO_2}	q_{aO_2}	q_{tO_2}	q_{vO_2}	Інтегральна оцінка
А	Test 30	2	1	1	1	1	1,2
	Test 30Rec	3	3	3	3	2	2,8
	65% $\dot{V}O_2$	1	1	1	1	2	1,2
	85% $\dot{V}O_2$	1	1	3	1	5	2,2
	$\dot{V}O_{2max}$	1	2	1	1	4	1,8
	CP $\dot{V}O_2$	1	2	1	1	1	1,2
В	Test 30	3	3	4	4	4	3,6
	Test 30Rec	5	5	4	5	3	4,4
	65% $\dot{V}O_2$	4	5	4	5	3	4,2
	85% $\dot{V}O_2$	5	5	5	5	4	4,8
	$\dot{V}O_{2max}$	5	5	5	5	3	4,6
	CP $\dot{V}O_2$	4	5	5	5	4	4,6
С	Test 30	2	2	3	2	3	2,4
	Test 30Rec	1	1	2	2	2	1,6
	65% $\dot{V}O_2$	3	3	3	3	2	2,8
	85% $\dot{V}O_2$	3	3	3	3	2	2,8
	$\dot{V}O_{2max}$	4	4	3	3	2	3,2
	CP $\dot{V}O_2$	3	2	3	3	4	3,0

Спортсмен А характеризувався низькими оцінками більшості показників масопереносу O_2 (інтегральні оцінки 1–3 бали). Підвищення оцінки q_vO_2 при інтенсивності навантаження $85\% \dot{V}O_{2max}$ та $\dot{V}O_{2max}$ (5 та 4 бали) може вказувати на погіршення тканинної екстракції O_2 з артеріальної крові, а відновлення під час СР демонструє резервні можливості.

Спортсмен В демонстрував найвищі та найбільш стабільні оцінки qO_2 (4–5 балів); абсолютні показники характеризуються надзвичайно високими значеннями та можуть розглядатися як близькі до гранично можливих (рисунок 4.1).

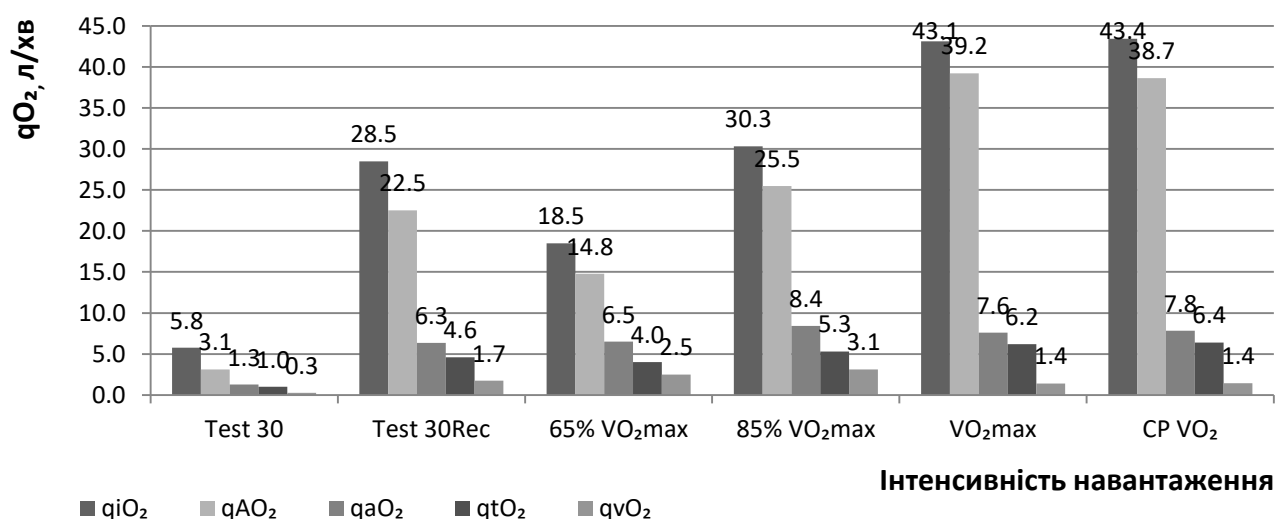


Рисунок 4.1 – Каскади об’ємної швидкості масопереносу кисню у спортсмена В при навантаженні різної інтенсивності

Зниження показника q_vO_2 є логічним за умов високої доставки та споживання O_2 , і вказував на переважання доставки над екстракцією O_2 працюючими м’язами. Сукупність цих ознак обґрунтовує високі інтегральні оцінки qO_2 (4–5 балів).

Спортсмен С мав проміжний, більш збалансований профіль: показники qO_2 демонструють середній груповий рівень (інтегральна оцінка 3 бали). Показник q_vO_2 мав тенденцію до зростання у період відновлення та при роботі

переважно аеробного характеру (Test 30Rec та у степ–тесті, оцінка 2 бали), що свідчить про знижену периферичну утилізацію O_2 , а оцінка 3 бали у Test 30 та $CP \dot{V}O_2$ може свідчити про схильність до короткочасної роботи високої інтенсивності.

4.2.2 Парціальні тиски кисню в організмі

Вищий P_{O_2} на альвеолярній та артеріальній ланці дифузії O_2 характеризувався вищими оцінками, а на венозній ланці – нижчими. Нижчий P_vO_2 є одним із головних критеріїв для визначення ступеню розвитку ГН (табл 4.8).

Таблиця 4.8 – Оцінки значень парціального тиску кисню в організмі

		P_{AO_2}	P_aO_2	P_vO_2	Інтегральна оцінка
A	Test 30	3	2	5	3,3
	Test 30Rec	3	2	4	3,0
	65% $\dot{V}O_2$	2	4	3	3,0
	85% $\dot{V}O_2$	3	1	1	1,7
	$\dot{V}O_{2max}$	3	2	1	2,0
	$CP \dot{V}O_2$	5	5	3	4,3
B	Test 30	2	1	4	2,3
	Test 30Rec	4	4	5	4,3
	65% $\dot{V}O_2$	4	1	5	3,3
	85% $\dot{V}O_2$	5	2	3	3,3
	$\dot{V}O_{2max}$	3	4	5	4,0
	$CP \dot{V}O_2$	2	2	5	3,0
C	Test 30	2	2	1	1,7
	Test 30Rec	1	2	3	2,0
	65% $\dot{V}O_2$	5	1	4	3,3
	85% $\dot{V}O_2$	3	4	3	3,3
	$\dot{V}O_{2max}$	3	5	4	4,0
	$CP \dot{V}O_2$	3	5	2	3,3

Зокрема, у спортсмена В високі показники qO_2 супроводжувалося коливаннями P_{AO_2} і P_aO_2 у степ–тесті, за високих балів P_vO_2 (4–5 балів), що

свідчить про ефективну інтеграцію ланок масопереносу O_2 та достатню доставку до тканин.

Натомість у спортсмена А низькі та нестабільні qO_2 підтверджувались вираженими коливаннями P_aO_2 і доволі високим P_vO_2 при 85–100% $\dot{V}O_{2max}$, що вказує на потенційні обмеження екстракції O_2 тканинами.

У спортсмена С каскади qO_2 відповідали поступовому покращенню профілю PO_2 , що відображає повільне, але збалансоване розгортання функціональних резервів РМК, що збігається з динамікою оцінок блоку КЗВК.

4.2.3 Ефективність режимів масопереносу кисню

Ефективність масопереносу O_2 характеризують співвідношення між швидкістю його транспорту в організмі та споживання, а також легеневі та тканинні дифузійні градієнти (табл. 4.9). Мінімальне значення показника $Ef qO_2$ відповідає максимальній ефективності масопереносу O_2 і має вищий бал. Вищі бали $KU_L O_2$, O_2ER_L та O_2ER_t відображають більш ефективну роботу конкретної ланки каскаду залежно від режиму навантаження. Інтегральна оцінка демонструє узгодженість усіх етапів масопереносу O_2 .

Таблиця 4.9 – Оцінки ефективності масопереносу кисню в організмі

		$Ef q_{lO_2}$	$Ef q_{AO_2}$	$Ef q_{aO_2}$	$Ef q_{vO_2}$	$KU_L O_2$	O_2ER_L	O_2ER_t	Інт. бал
А	Test 30	3	3	5	5	4	3	5	4,0
	Test 30Rec	3	3	4	4	4	4	5	3,9
	65% $\dot{V}O_2$	3	4	3	3	4	1	3	3,0
	85% $\dot{V}O_2$	5	3	1	1	5	5	1	3,0
	$\dot{V}O_{2max}$	4	3	1	1	5	4	1	2,7
	CP $\dot{V}O_2$	2	1	3	3	3	2	4	2,6
В	Test 30	4	4	3	3	5	3	4	3,7
	Test 30Rec	3	2	5	5	3	3	5	3,7
	65% $\dot{V}O_2$	3	2	5	5	3	5	5	4,0

Продовження таблиці 4.9

		Ef q _t O ₂	Ef q _A O ₂	Ef q _a O ₂	Ef q _v O ₂	KU _L O ₂	O ₂ ER _L	O ₂ ER _t	Інт. бал
В	85% $\dot{V}O_2$	2	1	2	2	3	5	3	2,6
	$\dot{V}O_{2max}$	3	3	5	5	3	3	5	3,9
	CP $\dot{V}O_2$	5	4	4	4	5	3	5	4,3
С	Test 30	4	4	1	1	5	1	2	2,6
	Test 30Rec	5	5	3	3	5	1	4	3,7
	65% $\dot{V}O_2$	2	1	4	4	3	5	5	3,4
	85% $\dot{V}O_2$	3	3	4	4	4	3	5	3,7
	$\dot{V}O_{2max}$	1	3	4	4	2	1	5	2,9
	CP $\dot{V}O_2$	3	3	2	2	3	1	3	2,4

Спортсмен В відзначався найвищими інтегральними оцінками ефективності масопереносу O₂. При інтенсивності 65% $\dot{V}O_{2max}$ інтегральна оцінка сягала 3,3 бала, що зумовлювалося високими показниками тканинної ланки (Ef q_aO₂ та Ef q_vO₂ 5 балів). У тесті CP $\dot{V}O_2$ спортсмен В продемонстрував максимальний інтегральний бал – 3,5, що вказує на збереження ефективного використання O₂ навіть в умовах накопиченої втоми. Відзначалася найбільш рівномірна реалізація каскаду екстракції O₂, що відображало добру легеневої утилізації, легеневої та тканинної екстракції O₂. Високі оцінки O₂ER_t (5 балів) у тестах $\dot{V}O_{2max}$ та CP $\dot{V}O_2$ поєднувалися з достатнім рівнем KU_LO₂. Водночас при 85% $\dot{V}O_{2max}$ інтегральна оцінка різко знижувалася до 1,8 бала, що могло бути зумовлено дисбалансом між високою легеневою екстракцією (O₂ER_L = 5 балів) та помірними значеннями KU_LO₂ і O₂ER_t. Така асинхронність може свідчити про неекономічну вентиляційно–перфузійну відповідь у субмаксимальному режимі.

Більш варіабельний характер ефективності масопереносу O₂ спостерігався у спортсмена А. У Test 30 та Test 30Rec поєднання високого рівня утилізації O₂ (KU_LO₂ – 4 бали) з максимальною тканинною екстракцією (O₂ER_t – 5 балів) свідчило про значні периферичні резерви та ефективну

реалізацію окисних процесів у короткочасних режимах. У зоні $65\% \dot{V}O_{2\max}$ спостерігалось різке обмеження O_2ER_L (1 бал), що відображало недостатню узгодженість вентиляційно-дифузійної ланки в аеробному режимі. При $85\% \dot{V}O_{2\max}$ і $\dot{V}O_{2\max}$ відзначалися максимальні оцінки $Ef q_aO_2$ і $Ef q_vO_2$ (по 5 балів) у поєднанні з високим $KU_L O_2$ та O_2ER_L , однак тканинна екстракція знижувалася ($O_2ER_t - 77\%$, 1 бал), що вказувало на компенсаторний характер відповіді при відносному вентиляційному обмеженні; інтегральна ефективність становила 2,5 і 2,3 бала відповідно. У тесті CP $\dot{V}O_2$, навпаки, зростання тканинного вилучення ($O_2ER_t - 81\%$, 4 бали) супроводжувалося підвищенням інтегральної оцінки до 2,0 бала, що підтверджувало схильність до реалізації високої потужності в умовах короткочасної роботи, незважаючи на низьку ефективність вентиляційної ланки ($Ef q_I O_2 - 2$ бали, $Ef q_A O_2 - 1$ бал).

Ефективність каскаду екстракції O_2 спортсмена С значною мірою визначалася режимом навантаження і загалом була менш стабільною. У Test 30 максимальний рівень $KU_L O_2$ (5 балів) поєднувався з низькою легеневою та тканинною екстракцією ($O_2ER_L - 1$ бал, $O_2ER_t - 2$ бали), що відповідало інтегральній оцінці 2,5 бала. У період відновлення (Test 30Rec) інтегральна ефективність зростала до 4 балів за рахунок підвищення тканинного вилучення (O_2ER_t 4 бали), що вказувало на значний післянавантажувальний резерв. При $65\% \dot{V}O_{2\max}$, незважаючи на високі значення O_2ER_L та O_2ER_t (по 5 балів), інтегральна оцінка знижувалася до 2,8 бала через недостатнє легеневе захоплення O_2 . У зоні $85\% \dot{V}O_{2\max}$ відзначалася найбільш узгоджена взаємодія ланок каскаду екстракції. На рівні $\dot{V}O_{2\max}$ та CP $\dot{V}O_2$ інтегральна ефективність становила 3,0–2,5 бала і лімітувалася стійко низькою ефективністю легеневої ланки ($Ef q_I O_2 - 1$ –3 бали) при відносно збереженій тканинній екстракції ($Ef q_a O_2$ та $Ef q_v O_2 -$ по 4 бали), що свідчило про обмеження доставки O_2 за граничної інтенсивності при достатній здатності тканин до його утилізації.

4.2.4 Інтенсивність масопереносу кисню в організмі

Показники $\text{Int } q_{\text{O}_2}$ відображають питому кількість O_2 , що транспортується чи споживається на кілограм ваги спортсменів. Вищий бал відображає вищу інтенсивність переміщення O_2 (табл. 4.10)

Таблиця 4.10 – Оцінки інтенсивності масопереносу O_2 в організмі

		$\text{Int } q_{\text{I}}\text{O}_2$	$\text{Int } q_{\text{A}}\text{O}_2$	$\text{Int } q_{\text{a}}\text{O}_2$	$\text{Int } q_{\text{t}}\text{O}_2$	$\text{Int } q_{\text{v}}\text{O}_2$	Інтегральний бал
A	Test 30	2	2	2	2	1	1,8
	Test 30Rec	3	3	3	4	2	3,0
	65% $\dot{V}\text{O}_2$	2	1	2	2	2	1,8
	85% $\dot{V}\text{O}_2$	2	2	4	2	5	3,0
	$\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$	2	2	2	2	5	2,6
	CP $\dot{V}\text{O}_2$	2	3	2	2	2	2,2
B	Test 30	3	3	5	4	4	3,8
	Test 30Rec	5	5	4	5	3	4,4
	65% $\dot{V}\text{O}_2$	5	5	4	5	3	4,4
	85% $\dot{V}\text{O}_2$	5	5	5	5	4	4,8
	$\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$	5	5	5	5	3	4,6
	CP $\dot{V}\text{O}_2$	4	4	5	5	4	4,4
C	Test 30	2	2	2	2	3	2,2
	Test 30Rec	1	1	2	2	2	1,6
	65% $\dot{V}\text{O}_2$	3	3	3	3	3	3,0
	85% $\dot{V}\text{O}_2$	3	3	2	3	3	2,8
	$\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$	4	3	3	3	2	3,0
	CP $\dot{V}\text{O}_2$	2	3	3	3	4	3,0

Переважно низькі інтегральні оцінки інтенсивності масопереносу O_2 (1,8–3,0 бала) спостерігались у спортсмена А, що свідчило про обмежену питому потужність системи транспорту O_2 . Оцінки більшості показників перебували в межах 1–3 балів. Лише при 85% $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ і на рівні $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ відзначалося різке зростання $\text{Int } q_{\text{v}}\text{O}_2$ до 5 балів, що відображало компенсаторне посилення тканинної екстракції у відповідь на підвищення метаболічного запиту. У період відновлення інтегральна оцінка тимчасово

підвищувалася до 3,0 бала, тоді як у тесті $CP \dot{V}O_2$ знову знижувалася, що вказувало на високу чутливість питомих показників до розвитку втоми.

Спортсмен В демонстрував стабільно найвищу інтенсивність масопереносу O_2 в усьому діапазоні навантажень. Значення $Int q_{lO_2}$, $Int q_{AO_2}$, $Int q_aO_2$ та $Int q_tO_2$ переважно відповідали 4–5 балам, що характеризувало дуже високий рівень питомої доставки та утилізації O_2 . Дещо нижчі показники $Int q_vO_2$ (3–4 бали) на тлі високої доставки мали закономірний характер і відображали її переважання над екстракцією. Такий профіль забезпечував найбільш узгоджену взаємодію всіх ланок каскаду масопереносу O_2 , яка зберігалася навіть у тесті $CP \dot{V}O_2$.

Проміжний і відносно збалансований профіль спостерігався у спортсмена С. Мінімальні значення реєструвалися у Test 30Rec, що свідчило про знижену питому доставку O_2 у період відновлення. Найбільш економічним був режим $65\% \dot{V}O_{2max}$, у якому всі компоненти вирівнювалися до 3 балів. Зі зростанням інтенсивності інтегральна оцінка істотно не збільшувалася, а помірне підвищення $Int q_vO_2$ при $\dot{V}O_{2max}$ та $CP \dot{V}O_2$ відображало відносне зростання ролі периферичної екстракції в умовах обмеженої доставки O_2 .

4.2.5 Киснева вартість одиниці механічної роботи

Оцінки показників інтенсивності переміщення O_2 демонстрували «вартість» O_2 –забезпечення потужності механічної роботи та узгодженість його масопереносу (табл. 4.11). $WqO_2 max$ – 5 балів.

Аналіз показав, що спортсмен А характеризувався високими значеннями $Int q_{lO_2}$ та $Int q_{AO_2}$ вже на рівні $65\% \dot{V}O_{2max}$, що відображалось максимальними оцінками усіх компонентів інтенсивності масопереносу (5 балів). На рівні $85\% \dot{V}O_{2max}$ зберігалися високі оцінки легеневої складової, однак відзначалося зниження $Int q_aO_2$ до 3 балів і різке зменшення $Int q_vO_2$ до 1 бала. За досягнення $\dot{V}O_{2max}$ у спортсмена А спостерігалось суттєве зниження оцінок тканинної та венозної ланок масопереносу (1 бал), а інтегральна оцінка зменшувалася до 1,8 бала, що може вказувати на зростання

енергетичної «ціни» виконаної роботи та обмеження ефективності використання O_2 за максимальної інтенсивності навантаження. Водночас у тесті CP $\dot{V}O_2$ відзначалося повне відновлення високих оцінок усіх показників інтенсивності масопереносу (5 балів), що свідчить про високу здатність до повторної активації аеробних механізмів у контрольованих умовах навантаження.

Таблиця 4.11 – Оцінки кисневої вартості механічної роботи

		$WqIO_2$	$WqAO_2$	$WqaO_2$	$WqtO_2$	$WqvO_2$	Інтегральна оцінка
A	Test 30	4	4	4	4	5	4,2
	65% $\dot{V}O_2$	5	5	5	5	5	5,0
	85% $\dot{V}O_2$	5	5	3	5	1	3,8
	$\dot{V}O_{2max}$	3	3	1	1	1	1,8
	CP $\dot{V}O_2$	5	5	5	5	5	5,0
B	Test 30	3	3	1	1	2	2,0
	65% $\dot{V}O_2$	2	2	3	1	3	2,2
	85% $\dot{V}O_2$	2	1	2	2	2	1,8
	$\dot{V}O_{2max}$	3	2	3	2	4	2,8
	CP $\dot{V}O_2$	1	1	1	1	2	1,2
C	Test 30	4	5	4	4	3	4,0
	65% $\dot{V}O_2$	3	3	4	4	4	3,6
	85% $\dot{V}O_2$	3	3	5	4	4	3,8
	$\dot{V}O_{2max}$	3	4	4	4	4	3,8
	CP $\dot{V}O_2$	2	3	1	1	1	1,6

Спортсмен В демонстрував переважно низькі значення $Int\ qIO_2$ і $Int\ qAO_2$ у всьому діапазоні інтенсивностей, що супроводжувалося низькими бальними оцінками (1–3 бали) та мінімальними інтегральними показниками, зокрема 1,8 бала на рівні 85% $\dot{V}O_{2max}$ і 1,2 бала у тесті CP $\dot{V}O_2$. Відносно підвищення $Int\ qvO_2$ на рівні $\dot{V}O_{2max}$ (4 бали) при збереженні помірних або низьких оцінок інших ланок може свідчити про недостатню тканинну екстракцію O_2 та меншу економічність механічної роботи на високих інтенсивностях.

Спортсмен С відзначався найбільш збалансованою динамікою інтенсивності масопереносу O_2 . Значення $Int\ qIO_2$ та $Int\ qAO_2$ поступово

зростали зі збільшенням інтенсивності навантаження, що супроводжувалося стабільно високими оцінками $\text{Int } \dot{V}\text{O}_2$ і $\text{Int } \dot{V}\text{O}_2$ (4–5 балів) та інтегральними показниками 3,6–3,8 бала у діапазоні $65\% \dot{V}\text{O}_{2\text{max}} - \dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$. Зниження оцінок усіх компонентів інтенсивності масопереносу у тесті $\text{CP } \dot{V}\text{O}_2$ (інтегральна оцінка 1,6 бала) може відображати виснаження аеробного механізму енергозабезпечення на фінальному етапі модуляції навантаження.

4.2.6 Характер розвитку та компенсації гіпоксії навантаження

У таблиці 4.12 наведено показники КЗВК, КЛС, газообміну та величини ЕРОС у спортсменів А, В і С під Test 30, степ-тесту на рівні $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ та $\text{CP } \dot{V}\text{O}_2$. Отримані дані дозволили оцінити індивідуальні особливості формування ГН та ефективність компенсаторних механізмів транспорту O_2 .

У спортсмена А вже під час Test 30 формувалася виражена ГН, що проявлялося зниженням $P_v\text{O}_2$ до ≈ 20 мм рт.ст. при збереженій $S_a\text{O}_2$. У режимах $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ і $\text{CP } \dot{V}\text{O}_2$ реєструвався IV ступінь ГН, що супроводжувався наростанням La , поглибленням метаболічного ацидозу та артеріальної гіпоксемією (зниженням $S_a\text{O}_2$). Загалом спортсмен А характеризувався комбінованим типом компенсації гіпоксії, обмеженою толерантністю до гіпоксичних навантажень і метаболічним типом реакції при роботі на рівні критичної потужності.

Спортсмен В вже на етапі Test 30 відзнався високим рівнем тканинної тканинна екстракції O_2 ($P_v\text{O}_2 < 20$ мм рт.ст.) за відносно помірних змін КЛС, що свідчило про ефективне використання аеробних резервів. Під час $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ і $\text{CP } \dot{V}\text{O}_2$ формувалася IV ступінь гіпоксії. Зниження $P_v\text{O}_2$ та $S_v\text{O}_2$ супроводжувалося помірним падінням $S_a\text{O}_2$ без надмірного зростання La , що вказувало на переважно респіраторний тип компенсації гіпоксії. Сукупність показників свідчила про високу толерантність до умов нестачі O_2 та стабільну реакцію на граничне навантаження з переважанням аеробного енергозабезпечення.

У спортсмена С вже під час Test 30 реєструвався максимальний ЕРОС (32 %) за відносно помірних значень $\dot{V}O_2$, що вказувало на раннє домінування анаеробних механізмів. У режимах $\dot{V}O_{2max}$ і $CP \dot{V}O_2$ формувалася глибока ГН, яка супроводжувалася високими концентраціями лактату, вираженим ацидозом (рН до 7,06). За відносно стабільних показників P_vO_2 та S_vO_2 це свідчило про тканинний тип компенсації гіпоксії, обмежену буферну ємність і швидке виснаження аеробних резервів. Реакція на граничне навантаження мала метаболічний характер, що відображало низьку стабільність енергетичного забезпечення в умовах критичної потужності.

Таблиця 4.12 – Показники, що характеризують ступінь та типологічні особливості гіпоксії навантаження

		VO ₂	La	pH	P _v O	S _a O	S _v O	ЕРОС	Ступінь ГН	Компенсація ГН	Толерантність до ГН	Реакція СР
		л/хв	ммоль/л	од.рН	мм.рт.ст	об.%		%VO ₂				
А	Test 30	4	5,08	7,42	20,1	96	29	29	3	Комбінована	Обмежена	Метаболічна
	VO ₂ max	4,9	9,2	7,25	18,5	82	23	23	4			
	СР VO ₂	4,8	14,2	7,2	16,9	83	19	19	4			
В	Test 30	4,6	4,69	7,37	19,4	97	27	27	3	Легенева (з елементами комбінованої)	Висока	Стабільна
	VO ₂ max	6,2	8,9	7,18	16,5	84	18	18	4			
	СР VO ₂	6,4	11,2	7,11	16,5	80	18	18	4			
С	Test 30	3,5	6,85	7,36	21,2	96	32	32	3	Тканинна	Обмежена	Метаболічна
	VO ₂ max	5,5	12,9	7,14	16,9	91	19	19	4			
	СР VO ₂	5,4	15,6	7,06	17,8	88	21	21	4			

Примітка. – Найвищу працездатність в умовах ГН демонстрував спортсмен В, для якого була характерна стабільна реалізація аеробного енергозабезпечення навіть за формування глибокої гіпоксії. Обмеження доставки О₂ компенсувалися високою ефективністю вентиляції та метаболізму та контрольованою метаболічною відповіддю, що підтверджувалося відносно стабільними показниками КЛС. У спортсменів А і С працездатність в умовах гіпоксії була нижчою через нестабільність або метаболічний характер реакції на граничне навантаження, що супроводжувалося високою «вартістю» підтримання потужності та швидшим виснаженням аеробних резервів.

4.3 Функціональні характеристики кардіореспіраторної системи

4.3.1 Економічність та ефективність кардіореспіраторної системи

Наступний блок відображає економічність та ефективність КРС: це вентиляційні еквіваленти за O_2 , CO_2 , P_ACO_2 та гемодинамічний еквівалент (HE), нижчі значення показників яких оцінено вищими балами. O_2HR та O_2RC , що відображають « O_2 –результат» одного серцевого та дихального циклів, $max = 5$ балів.

Спортсмен А мав помірну загальну економічність КРС, яка формувалася переважно за рахунок респіраторної ланки. На більшості рівнів навантаження O_2 –вартість механічної роботи залишалася низькою (4–5 балів), за винятком зниження у зоні $\dot{V}O_{2max}$. Водночас показники HE та O_2HR були стабільно низькими або нестабільними, що свідчило про обмежені циркуляторні можливості доставки O_2 . Починаючи з $65\%\dot{V}O_{2max}$, ефективність вентиляції залишалася високою: O_2 –вартість дихального циклу оцінювалася у 4–5 балів, EqP_ACO_2 переважно становив 4–5 балів. Лише у Test 30Rec реєструвалася гіпервентиляційна відповідь після максимальної роботи, а зниження $EqCO_2$ при $85\%\dot{V}O_{2max}$ відображало напруження механізмів елімінації CO_2 . Таким чином, економічність КРС підтримувалася головним чином ефективністю зовнішнього дихання при відносно низькій потужності серцево–судинної системи.

Найвища економічність спостерігалась у спортсмена В, реалізована переважно за рахунок циркуляторно–метаболічної ланки: O_2HR і O_2RC на більшості етапів 4–5 балів, що вказувало на ефективну доставку та утилізацію O_2 тканинами. Вентиляційна складова при цьому була менш економічною: EqO_2 та $EqCO_2$ переважно становили 2–3 бали, а EqP_ACO_2 у діапазоні 65 – $100\%\dot{V}O_{2max}$ знижувався до 1 бала, що відображало підвищену вентиляційну вартість підтримання газового гомеостазу при високих навантаженнях. Отже, висока інтегральна економічність КРС у цього спортсмена забезпечувалася

насамперед потужністю серцево–судинної системи за відносно більших енергетичних витрат на вентиляцію.

Таблиця 4.11 – Оцінки економічності та ефективності кардіо–респіраторної системи

		HE	O ₂ HR	O ₂ RC	EqP _A CO ₂	EqO ₂	EqCO ₂	Інт. оцінка
A	Test 30	2	2	3	5	3	5	3,3
	Test 30Rec	3	3	2	3	3	4	3,0
	65% $\dot{V}O_2$	1	1	5	5	3	5	3,3
	85% $\dot{V}O_2$	1	4	4	4	5	1	3,2
	$\dot{V}O_{2max}$	1	1	5	4	4	3	3,0
	CP $\dot{V}O_2$	2	1	4	4	2	3	2,7
B	Test 30	1	5	5	3	4	2	3,3
	Test 30Rec	3	5	5	2	3	2	3,3
	65% $\dot{V}O_2$	2	5	5	1	3	2	3,0
	85% $\dot{V}O_2$	1	5	5	1	2	4	3,0
	$\dot{V}O_{2max}$	2	5	5	1	3	3	3,2
	CP $\dot{V}O_2$	1	5	5	2	5	3	3,5
C	Test 30	3	3	4	4	4	4	3,7
	Test 30Rec	3	2	3	5	5	3	3,5
	65% $\dot{V}O_2$	4	3	1	3	2	3	2,7
	85% $\dot{V}O_2$	3	3	3	3	3	2	2,8
	$\dot{V}O_{2max}$	5	5	2	2	1	2	2,8
	CP $\dot{V}O_2$	5	5	4	3	3	2	3,7

Спортсмен С характеризувався найбільш збалансованим профілем економічності: середні та високі значення HE поєднувалися з помірними O₂HR і O₂RC, що забезпечувало відносно рівномірні інтегральні оцінки в усьому діапазоні навантажень. У Test 30 та Test 30Rec реєструвалися найвищі бали завдяки ефективній вентиляційній відповіді (EqP_ACO₂ та EqO₂ – 4–5 балів). Найбільш економічним був помірний аеробний режим, тоді як при досягненні $\dot{V}O_{2max}$ оцінки вентиляційних показників знижувалися до 1–3 балів, що свідчило про зростання вентиляційної вартості роботи і зменшення

узгодженості вентиляції з метаболічними потребами на межі функціональних можливостей. Загалом відповідь КРС мала рівномірний характер без домінування окремих ланок, але з меншою реактивністю у зоні максимальних навантажень.

4.3.2 Потужність та ємність кардіореспіраторної системи

Оцінки E_{qO_2} , E_{qCO_2} , $\dot{V}O_2$ на рівнях модуляції навантаження Test 30, $65\%\dot{V}O_{2max}$, $85\%\dot{V}O_{2max}$ та $\dot{V}O_{2max}$ у % від CP, відображали характеристики потужності та ємності кардіореспіраторної системи (табл. 4.12).

Спортсмен А характеризувався високою потужністю КРС, що найбільш чітко проявлялося під час Test 30 та на рівні $\dot{V}O_{2max}$. Високі оцінки $\dot{V}O_2 \frac{SSt}{CP}$ (4–5) у поєднанні з помірно ефективними значеннями $E_{qO_2} \frac{SSt}{CP}$ та $E_{qCO_2} \frac{SSt}{CP}$ свідчили про здатність швидко досягати високого рівня аеробної потужності. Ємність системи оцінюється як середньо–висока. На рівнях $65\text{--}85\%\dot{V}O_{2max}$ інтегральні бали знижуються (2–3), що вказувало на обмежену здатність тривалого підтримання високої ефективності газообміну без зростання вентиляційних витрат. $\dot{V}O_2 \frac{SSt}{CP}$ демонструють значний резерв до збільшення споживання O_2 , але без ознак вираженої економізації, що свідчить про перевагу потужнісного профілю над ємнісним.

Потужність КРС у спортсмена В оцінювалася як помірна. Незважаючи на високі оцінки E_{qO_2} на рівнях $65\text{--}85\%\dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}O_{2max}$ до CP $\dot{V}O_2$ (4–5 балів), $E_{q} \frac{SSt}{CP}$ за O_2 та CO_2 мали низькі бали (1–2), що вказувало на значні вентиляційні витрати при досягненні високого $\dot{V}O_2$. КРС виявляла помірну стабільність, не досягаючи високих значень (інтегральний бал 2,7). Це свідчило про стабільно–високу здатність підтримувати задану роботу на фоні втоми. Такий профіль вказував на функціональну стійкість системи без вираженої вентиляційної оптимізації.

Таблиця 4.12 – Оцінки потужності та ємності кардіо-респіраторної системи

		$EqO_2 \frac{SSt}{CP}$	$EqCO_2 \frac{SSt}{CP}$	$VO_2 \frac{SSt}{CP}$	Інтегральний бал
А	Test 30	3	3	4	3,3
	65% $\dot{V}O_2$	4	3	3	3,3
	85% $\dot{V}O_2$	4	1	2	2,3
	$\dot{V}O_{2max}$	4	2	1	2,3
В	Test 30	3	2	3	2,7
	65% $\dot{V}O_2$	1	2	5	2,7
	85% $\dot{V}O_2$	1	3	4	2,7
	$\dot{V}O_{2max}$	1	2	5	2,7
С	Test 30	4	4	3	3,7
	65% $\dot{V}O_2$	1	3	3	2,3
	85% $\dot{V}O_2$	2	2	2	2,0
	$\dot{V}O_{2max}$	1	3	3	2,3

У спортсмена С домінує ємнісний компонент КРС: високі оцінки $Eq \frac{SSt}{CP}$ у Test 30 і зниження їх при зростанні інтенсивності навантаження свідчать про адаптивну перебудову. Це узгоджувалось з динамікою оцінок $VO_2 \frac{SSt}{CP}$ (Test 30 – 4 бал, 65% $\dot{V}O_{2max}$ – 1 бал, 85% $\dot{V}O_{2max}$ – 2 бали, $\dot{V}O_{2max}$ – 1 бал) вказують на недостатню реалізацію максимальної потужності.

4.3.3 Кислотно лужний стан крові та кислотно–лужний профіль

Аналіз змін КЛС свідчить про виражені індивідуальні особливості регуляції у спортсменів А, В і С за умов модуляції інтенсивного та граничного фізичного навантаження, а за типом настання та компенсації метаболічного ацидозу та дозволяє сформулювати КЛП спортсмена (підрозділ 2.2.1). Показники La та рН оцінювались вищими балами за вище значення, показники P_{ACO_2} , як маркеру ефективності вентиляції, навпаки (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 – Оцінка параметрів кислотно–лужного стану крові

		P_{ACO_2}	pH	La	$La \frac{T_{30}}{CP}$	ΔLa	ΔpH	Інтегральний бал
A	Test 30	2	1	3	1	5	4	2,7
	$\dot{V}O_{2max}$	3	2	5	1	5	2	3,0
	CP $\dot{V}O_2$	2	4	5	–	–	–	3,7
B	Test 30	1	3	5	2	5	2	3,0
	$\dot{V}O_{2max}$	3	2	4	3	3	3	3,0
	CP $\dot{V}O_2$	2	2	4	–	–	–	2,7
C	Test 30	4	2	4	3	2	3	3,0
	$\dot{V}O_{2max}$	2	5	3	4	4	4	3,7
	CP $\dot{V}O_2$	3	5	3	–	–	–	3,7

Узагальнені результати свідчили, що як у спортсменів усіх типів наявний значущий анаеробний потенціал, однак механізми його реалізації відрізняються: він проявляється через максимальну потужність та швидкість активації анаеробних процесів, або більшу ємність та здатність до тривалого підтримання анаеробного внеску в умовах прогресуючого навантаження.

Аналіз індивідуальних кислотно–лужних профілів (КЛП) показав виражені відмінності у механізмах компенсації метаболічного ацидозу та толерантності до навантаження (таблиця 4.15).

Таблиця 4.15 – Кислотно–лужний профіль спортсменів А, В та С

	Анаеробна потужність та ємність	La резерв	Толерантність до ацидозу та його ступінь	Респіраторний внесок
	$La \frac{T_{30}}{CP}$	$La \frac{VO_{2max}}{CP}$	ΔpH та La	P_{ACO_2}
A	Збалансоване	Великий	Середня	Адекватний до $\dot{V}O_{2max}$
B	Збалансоване	Середній	Середньо–висока	Адекватний
C	Висока потужність	Середній	Висока	Ефективний

У спортсмена А метаболічний компонент демонстрував поступове зростання La 5,1 – 9,2 – 14,2 ммоль/л, при цьому $La \frac{T_{30}}{CP}$ був низьким (35,8%).

Ступінь ацидозу характеризувався помірним зниженням рН ($7,42 \rightarrow 7,20$). Толерантність до ацидозу оцінювалась як середня через швидке зростання La за стабільного рН. Динаміка P_{ACO_2} демонструвала ефективне видалення вуглекислоти при збільшенні інтенсивності навантаження (рис. 4.2).

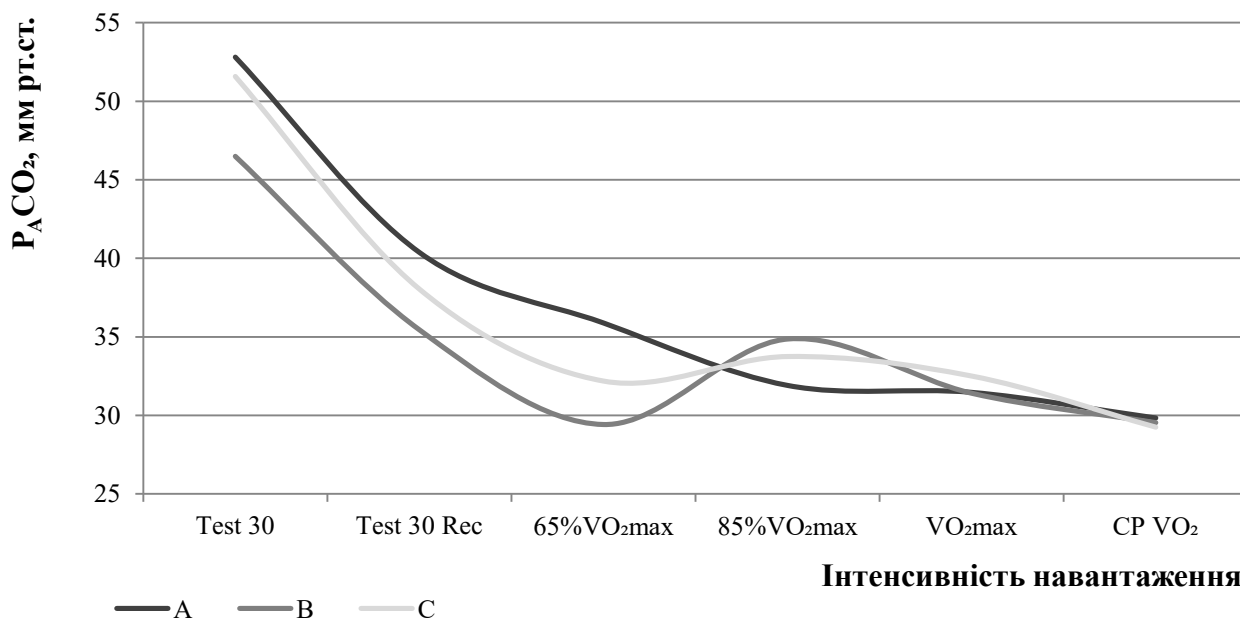


Рисунок 4.2 – Динаміка змін альвеолярного парціального тиску вуглекислого газу у спортсменів А, В та С під час модуляції навантаження

У спортсмена В концентрація La зростала від 4,7 до 11,2 ммоль/л, при цьому La Test 30 становив 41,8% від максимального, що перевищувало показники спортсмена А. Зниження рН було помірно вираженим ($7,37 \rightarrow 7,11$), а ΔpH залишалося стабільним, що свідчило про середню–високу толерантність до ацидозу при помірному зростанні ΔLa . Респіраторна компенсація була адекватною при $\dot{V}O_{2max}$, відображена зменшенням P_{ACO_2} .

Спортсмен С демонстрував високий метаболічний резерв: La зростала від 6,9 до 15,6 ммоль/л, при цьому лактатний резерв на тесті 30 с становив 44,0%, а на $La \frac{\dot{V}O_{2max}}{CP}$ дорівнював 82,9%. Ступінь ацидозу був більш вираженим (рН $7,36 \rightarrow 7,06$), однак зміни ΔpH компенсували зростання La , що

свідчило про високу толерантність до ацидозу. Спостерігається активне включення респіраторної компенсації надлишку CO_2 .

4.3.4 Схильність до певного типу м'язової роботи

Спортсмен А демонстрував універсальність функціональних можливостей: великий анаеробний резерв у поєднанні з нормо–реактивною КРС забезпечує ефективну реалізацію як тривалих, так і помірно інтенсивних навантажень. Спортсмен В відзначається високою аеробною функцією, значним анаеробним резервом та ефективною респіраторною компенсацією, що відповідає стаєрському типу; це забезпечує стабільну тривалу роботу при поступовому наростанні фізичного навантаження. Спортсмен С демонструє характерні ознаки спринтерського типу: переважання високої анаеробної потужності та гіпо– або нормо–реактивна КРС забезпечують короткочасну інтенсивну роботу, тоді як адаптація до тривалих навантажень є обмеженою. Такий функціональний розподіл дозволяє прогнозувати ефективність м'язової роботи залежно від специфіки навантаження та визначати оптимальні режими тренувань для різних типів спортсменів.

4.4 Інтегральні оцінки спортсменів А, В та С

На рисунку 4.3 представлено інтегральні бали функціональних блоків спортсменів А, В та С, що відображають індивідуальні особливості організації систем масопереносу O_2 та їх взаємодії.

Спортсмен А характеризувався високими показниками блоків, пов'язаних з ефективністю РМК, економічністю вентиляції та реактивністю КРС. Це свідчить про достатньо ефективну реалізацію аеробного забезпечення за рахунок респіраторної ланки та узгодженої роботи систем доставки O_2 . Водночас показники серцево–судинної системи, газообміну та КЛС мають помірний рівень, що вказує на компенсаторний характер адаптації.

Спортсмен В має найбільш високі інтегральні бали серцево–судинної системи, газообміну та $\dot{q}O_2$, що свідчить про значний внесок легенево–дифузійної та гемодинамічної ланок у забезпечення O_2 –запиту. Разом із високими значеннями ефективності РМК це формує відносно збалансований профіль функціонального забезпечення. При цьому економічність вентиляції та КЛС виражені меншою мірою, що може вказувати на більшу «вартість» адаптації за рахунок напруження регуляторних механізмів.

Спортсмен С характеризується переважно середніми інтегральними балами більшості блоків КРС. Водночас, відносно вищі значення КЗВП та показників, пов'язаних із тканинною утилізацією O_2 , свідчать про суттєвий внесок периферичних механізмів та анаеробних компонентів енергозабезпечення. Помірні показники вентиляційної та серцево–судинної ланок вказують на обмежену роль центральних механізмів у формуванні загального рівня працездатності.

Таким чином, аналіз інтегральних профілів демонструє, що при загалом достатньому рівні функціональної підготовленості всі три спортсмени реалізують забезпечення м'язової роботи за рахунок різних стратегій: спортсмен А – переважно через респіраторну ефективність, спортсмен В – за рахунок потужної серцево–судинної та газообмінної ланок, спортсмен С – через підсилення тканинної утилізації O_2 та метаболічних механізмів.

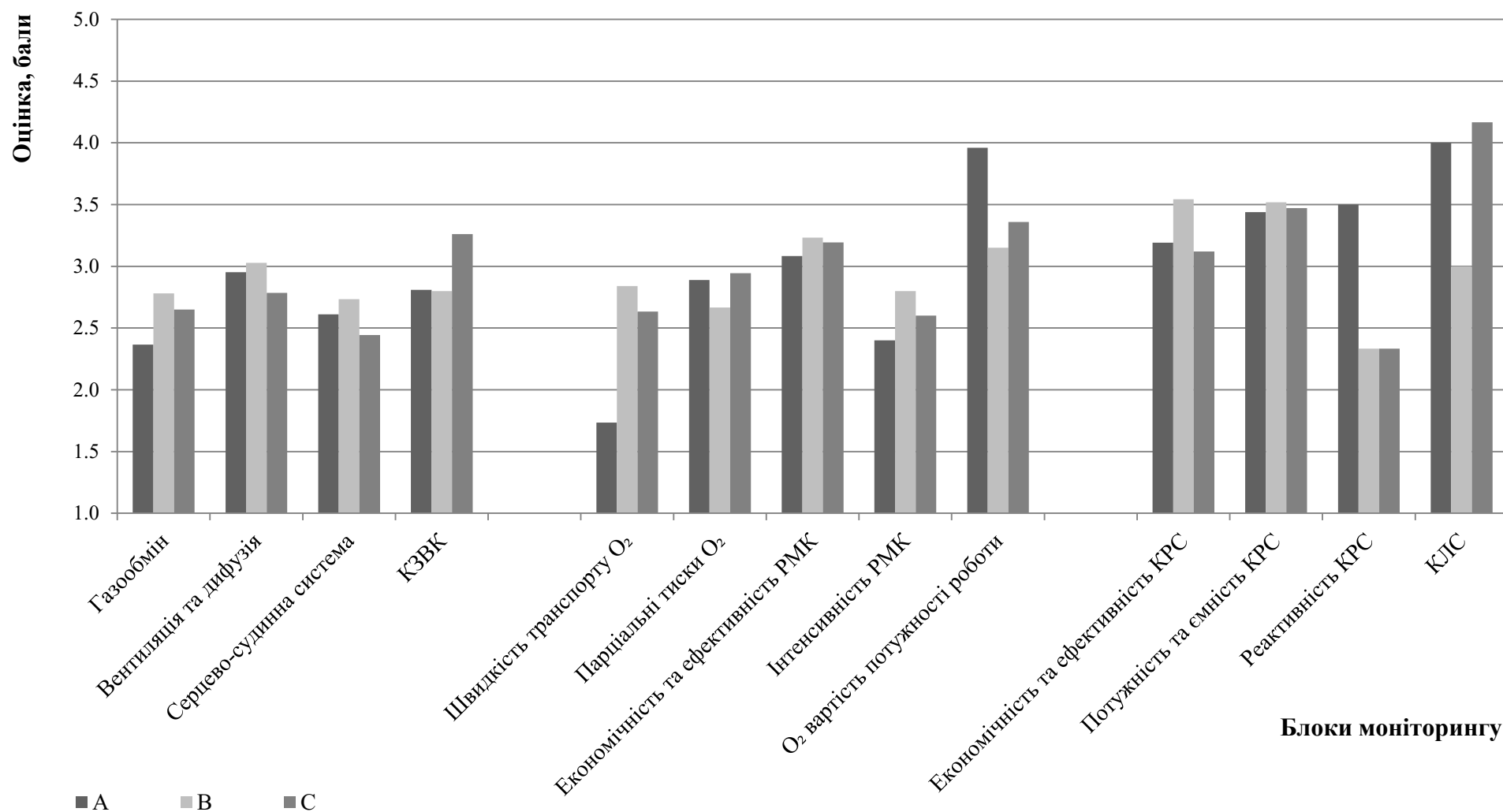


Рисунок 4.3 – Інтегральні оцінки блоків моніторингу спортсменів А, В та С

Графік, що зображений на рисунку 4.4, відображає динаміку інтегральних оцінок функціонального стану КРС спортсменів А, В та С залежно від інтенсивності навантаження (від Test 30 до CP $\dot{V}O_2$).

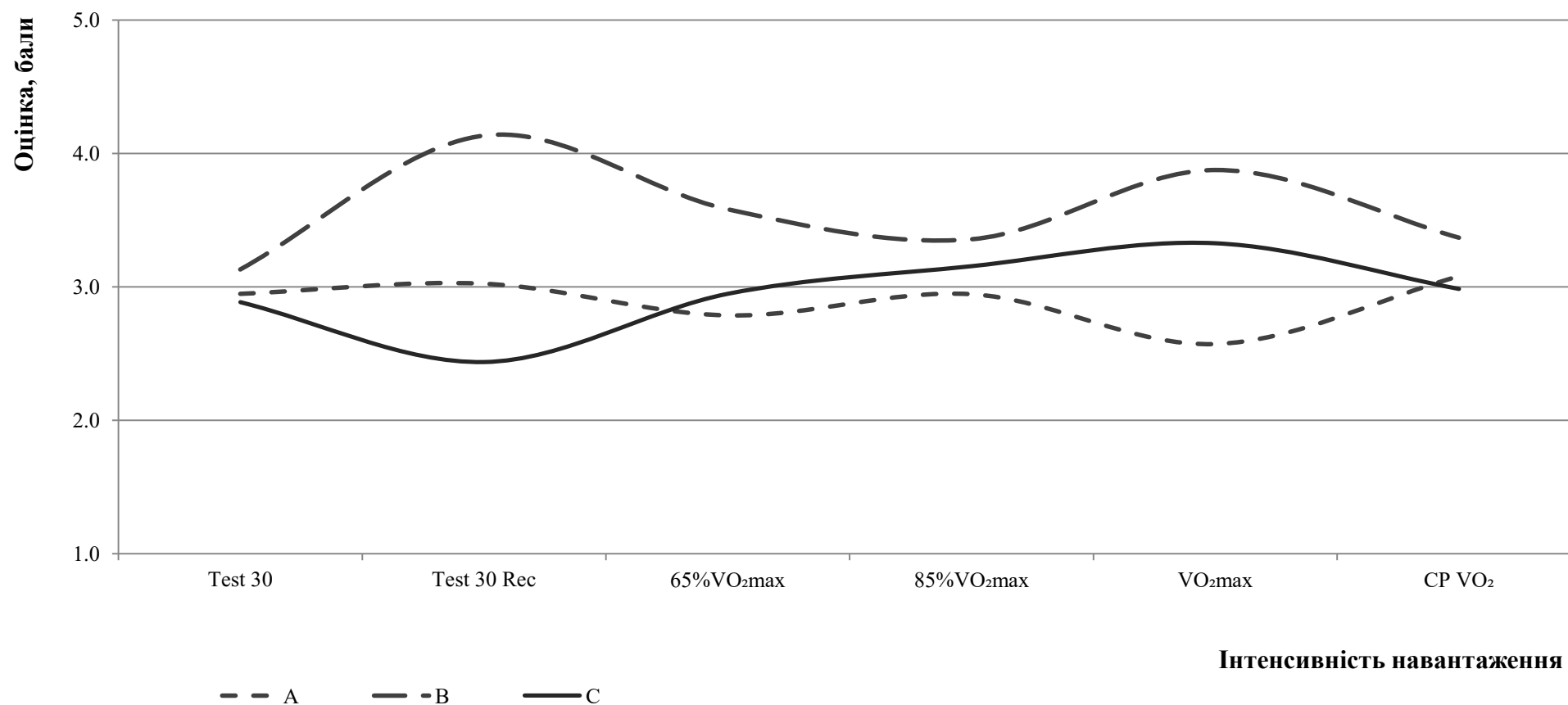


Рисунок 4.4 – Динаміка інтегральних балів спортсменів А, В та С в процесі тестування

Крива спортсмена А характеризувалася відносно незначними коливаннями інтегральної оцінки: після помірного підвищення у фазі Test 30 Rec (3,0 бала) спостерігалось її зниження на рівні $65\%\dot{V}O_{2max}$ (2,8 бала) та мінімальне значення при досягненні $\dot{V}O_{2max}$ (2,6 бала) з подальшим підвищенням у тесті CP $\dot{V}O_2$ (3,1 бала). Така динаміка свідчила про обмежену стійкість до граничних навантажень за наявності достатньо ефективних відновних механізмів, що забезпечували часткову компенсацію після роботи максимальної інтенсивності.

У спортсмена В реєструвалися найвищі інтегральні значення протягом усього тестування та найбільша амплітуда їх змін: різке зростання показника у фазі відновлення після Test 30 (4,1 бала), подальше зниження на субмаксимальних рівнях інтенсивності (3,6–3,4 бала) і повторне підвищення при $\dot{V}O_{2max}$ (3,9 бала) з наступним зменшенням у CP $\dot{V}O_2$ (3,4 бала). Такий профіль відображав значні функціональні резерви, високу мобілізаційну здатність КРС та ефективну перебудову регуляторних механізмів у відповідь на зростання потужності навантаження.

Крива спортсмена С мала інший характер: після зниження у фазі Test 30 Rec (2,4 бала) відзначалося поступове й послідовне підвищення інтегральної оцінки до $85\%\dot{V}O_{2max}$ (3,2 бала) і $\dot{V}O_{2max}$ (3,3 бала) з подальшою стабілізацією у CP $\dot{V}O_2$ (3,0 бала). Це свідчило про поетапну активацію механізмів енергозабезпечення, достатню стійкість до високих інтенсивностей і відсутність різких зривів регуляції при переході до граничних режимів роботи.

На відміну від рисунку 4.3, що відображав переважно структурні особливості адаптації, наведена динаміка інтегральних оцінок дозволяла оцінити ступінь узгодженості функціонування КРС в умовах послідовної модуляції навантаження та у відновному періоді.

Також, у ході проведення дослідження були визначені ряд типологічних характеристик (табл. 4.13):

Таблиця 4.13 – Типологічні особливості спортсменів А, Б, С.

	Тип відповіді КРС	Тип реактивності КРС	Кисотно–лужний профіль	Особливості розвитку та компенсації ГН	Схильність до певного типу м'язової роботи
А	кардіальний	гіпер–реактивний	Збалансоване співвідношення анаеробної потужності та ємності Великий La резерв Середня толерантність до ацидозу Адекватна компенсація до VO ₂ max	3–4 ступінь ГН комбінований тип компенсації обмежена толерантність нестабільний стан при СР	спринтерська
В	змішаний	гіпо– або нормо–реактивний	Збалансоване співвідношення анаеробної потужності та ємності Середній La резерв Середньо–висока толерантність до ацидозу Адекватна компенсація	3–4 ступінь ГН легеневий тип компенсації висока толерантність стабільність при СР	стаєрська
С	вентиляційний	гіпо–реактивний	Висока анаеробна потужність Середній La резерв Висока толерантність до ацидозу Ефективна компенсація	3–4 ступінь ГН тканинний тип компенсації обмежена толерантність метаболічно–нестабільний стан при СР	комбінована

Типологічні характеристики є одним із способів інтерпретації даних моніторингу: надають можливість охарактеризувати структуру адаптаційних реакцій організму під час інтенсивного навантаження та визначити провідні ланки обмеження або компенсації працездатності.

Сукупність типологічних характеристик спортсмена А відповідала кардіальному типу відповіді КРС у поєднанні з гіперреактивною $\dot{V}O_2$ –кінетикою, що відображало високу швидкість мобілізації аеробних механізмів за провідної ролі серцево–судинної ланки транспорту O_2 . Кисотно–лужний профіль характеризувався збалансованим співвідношенням анаеробної потужності та ємності, великим лактатним резервом і середньою толерантністю до ацидозу при адекватній компенсації метаболічних зрушень до рівня $\dot{V}O_{2max}$. Формування гіпоксії відбувалося в межах 3–4 ступеня з комбінованим типом компенсації, однак толерантність до граничних навантажень залишалася обмеженою, а у режимі СР спостерігалася функціональна нестабільність, що свідчило про швидке виснаження резервів при піковій інтенсивності. Такий комплекс ознак відповідав спринтерській спрямованості енергозабезпечення, орієнтованій на реалізацію високої потужності у відносно короткому часовому інтервалі.

Спортсмен В характеризувався змішаним типом відповіді КРС у поєднанні з гіпо– або нормореактивною $\dot{V}O_2$ –кінетикою, що вказувало на економічне та раціональне залучення аеробних механізмів. Кисотно–лужний профіль відображав збалансоване співвідношення анаеробної потужності та ємності, середній лактатний резерв і середньо–високу толерантність до ацидозу при загалом адекватній компенсації. Розвиток гіпоксії відповідав 3–4 ступеню, при цьому домінував легеневий тип компенсації, відзначалася висока толерантність до граничних навантажень і стабільний функціональний стан у режимі СР. Сукупність ознак відповідала стаєрській спрямованості енергозабезпечення, що забезпечувала тривалу та економічну реалізацію м'язової роботи за рахунок ефективної взаємодії вентиляційної та гемодинамічної ланок.

У спортсмена С визначався вентиляційний тип відповіді КРС у поєднанні з гіпореактивною $\dot{V}O_2$ –кінетикою, що свідчило про провідну роль дихальної системи при відносно повільнішому залученні аеробних резервів. Кисотно–лужний профіль характеризувався високою анаеробною

потужністю, середнім лактатним резервом і високою толерантністю до ацидозу при ефективній компенсації метаболічних зрушень. Гіпоксія формувалася в межах 3–4 ступеня з переважанням тканинного типу компенсації, однак загальна толерантність до граничних навантажень залишалася обмеженою, а у режимі СР відзначався метаболічно нестабільний стан, що вказувало на значне залучення анаеробних механізмів. Такий комплекс характеристик відповідав комбінованій спрямованості енергозабезпечення, яка поєднувала високу анаеробну потужність із відносною здатністю до її пролонгованої реалізації.

Інтегральні оцінки функціональних блоків і типологічні характеристики відображали єдині фізіологічні механізми на різних рівнях узагальнення. У спортсмена А як бальна структура киснетранспортної системи, так і тип відповіді КРС узгоджено вказували на швидко-силову спрямованість із домінуванням гемодинамічного механізму та обмеженою стійкістю до пікових навантажень. У спортсмена В рівномірний інтегральний профіль поєднувався з високою толерантністю до гіпоксії та стабільністю у граничних режимах, що повністю відповідало стаєрському типу енергозабезпечення та високій економічності функціонування. Для спортсмена С структурні бальні характеристики разом з особливостями компенсації гіпоксії свідчили про комбінований тип функціональної організації, у якому значна роль тканинної утилізації O_2 поєднувалася з потужним анаеробним компонентом і функціональною нестабільністю при досягненні критичних режимів роботи.

Таким чином, обидва підходи були взаємодоповнювальними і описували єдину систему адаптаційних перебудов, що визначали індивідуальний тип реалізації працездатності спортсменів.

Висновки до розділу 4

Результати індивідуального моніторингу фізіологічних, функціональних і метаболічних показників у процесі модуляції навантаження підтвердили, що за однакових умов тестування спортсмени реалізують високий рівень спеціальної працездатності різними механізмами. Встановлено, що формування працездатності визначається не окремими показниками, а узгодженістю взаємодії вентиляційної, дифузійної, гемодинамічної та тканинної ланок транспорту й утилізації O_2 . Індивідуальні відмінності проявлялися у співвідношенні центральних механізмів доставки O_2 та периферичних механізмів його утилізації, що зумовлює різні стратегії адаптації до навантаження. Порушення узгодженості між окремими ланками супроводжувалося напруженням систем транспорту респіраторних газів, що супроводжується формуванням ЕРОС та метаболічним ацидозом, зниженням інтегральних оцінок і зростанням «вартості» роботи, що особливо виражено у граничних режимах (VO_{2max} , $CP\ VO_2$).

Застосування методу QSGM дозволило стандартизувати індивідуальні показники, сформувати функціональні профілі спортсменів та інтегрально оцінити взаємодію фізіологічних систем. Метод продемонстрував високу інформативність у виявленні компенсаторних реакцій, асинхронності функціонування систем та індивідуальних обмежень працездатності при різних рівнях інтенсивності навантаження.

На основі комплексного аналізу визначено п'ять ключових типологічних характеристик, що описують спрямованість функціонального забезпечення спеціальної працездатності: тип відповіді кардіореспіраторної системи, тип її реактивності за $\dot{V}O_2$ —кінетикою, кислотно-лужний профіль, особливості розвитку та компенсації гіпоксії навантаження, а також схильність до певного типу м'язової роботи. Саме поєднання цих характеристик формує індивідуальну стратегію адаптації спортсмена до фізичного навантаження.

Спортсмен А характеризується кардіальним типом відповіді кардіореспіраторної системи у поєднанні з гіперреактивною $\dot{V}O_2$ –кінетикою, що відображає швидку мобілізацію аеробних механізмів. Кислотно–лужний профіль свідчить про великий лактатний резерв і середню толерантність до ацидозу. Гіпоксія формується в межах 3–4 ступеня з комбінованим типом компенсації, однак стійкість до граничних навантажень залишається обмеженою. Такий комплекс ознак відповідає спринтерській спрямованості енергозабезпечення.

Профіль спортсмена В вирізняється найбільш збалансованим функціональним забезпеченням: змішаний тип відповіді КРС поєднується з нормо– або гіпореактивною $\dot{V}O_2$ –кінетикою, що свідчить про економне залучення аеробних механізмів. Високі показники газообміну та гемодинаміки забезпечують значний резерв доставки O_2 , а кислотно–лужний профіль характеризується збалансованістю та середньо–високою толерантністю до ацидозу. Це відповідає стаєрській спрямованості та високій стабільності при граничних навантаженнях.

У спортсмена С визначається вентиляційний тип відповіді кардіореспіраторної системи з гіпореактивною $\dot{V}O_2$ –кінетикою. Функціональний профіль відзначається вираженням анаеробним компонентом і високою толерантністю до ацидозу при значному внеску периферичних механізмів утилізації O_2 . Гіпоксія має переважно тканинний тип компенсації, проте стійкість до критичної потужності є обмеженою. Такий профіль відповідає комбінованій спрямованості енергозабезпечення з акцентом на анаеробну потужність.

Таким чином, інтегральні оцінки QSGM та типологічні характеристики відображають єдину систему адаптаційних перебудов, що визначає індивідуальний тип реалізації спеціальної працездатності та може бути використана для оптимізації тренувального процесу.

Матеріали четвертого розділу опубліковані у наукових працях автора [138, 139, 142, 143, 145, 146, 158].

РОЗДІЛ 5

АНАЛІЗ І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1 Загальна характеристика систем транспорту та утилізації кисню при м'язовій діяльності різної інтенсивності

Проведені експериментальні та теоретичні дослідження процесу масопереносу респіраторних газів і механізмів його регуляції під час м'язової діяльності дали змогу якісно й кількісно охарактеризувати інтегровану систему транспорту та утилізації O_2 і CO_2 в умовах зростаючої інтенсивності навантаження (від Test 30 до $65\%\dot{V}O_{2max}$, $85\%\dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}O_{2max}$ та $CP \dot{V}O_{2max}$). Отримані дані узгоджуються з класичними положеннями про каскад транспорту кисню та обмеження аеробної продуктивності, де ключову роль відіграє взаємодія легеневої, серцево–судинної та тканинної ланок (*Bassett & Howley, 2000; Dominelli et al., 2021; Poole & Jones, 2012*) [6, 31, 32, 92]. Разом з тим, результати дослідження уточнюють співвідношення внеску центральних і периферичних механізмів залежно від інтенсивності навантаження.

Установлено межі коливань об'ємних потоків O_2 та вуглекислого газу, змін їх парціальних тисків у легеневій, артеріальній і венозній ланках, а також визначено характер перебудови каскадів масопереносу залежно від рівня інтенсивності навантаження. Показано, що при переході від економічного аеробного режиму ($65\%\dot{V}O_{2max}$) до субмаксимальної та максимальної інтенсивності ($85\%\dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}O_{2max}$, $CP \dot{V}O_2$) відбувається послідовне зростання швидкостей qO_2 , підвищення вентиляційної та гемодинамічної вартості роботи, формування вентиляційно–перфузійних обмежень і посилення тканинної екстракції O_2 .

Визначено значення окремих регуляторних впливів у формуванні потоків газів: дихального об'єму, хвилинної та альвеолярної вентиляції, об'ємної швидкості кровотоку в малому та великому колах кровообігу,

ударного об'єму серця і частоти серцевих скорочень, кисневозв'язувальних властивостей крові та її буферних систем. Показано, що при помірній інтенсивності домінує узгоджена інтеграція вентиляційної та гемодинамічної ланок, тоді як у зоні $\dot{V}O_{2max}$ і $CP \dot{V}O_2$ підтримання високого рівня споживання O_2 забезпечується за рахунок граничної мобілізації центральних механізмів і максимальної тканинної екстракції.

Оцінено внесок тканинних механізмів (капіляризація, мітохондріальна щільність, активність окисних ферментів) у підвищення ефективності та економічності режимів масопереносу O_2 і CO_2 . Встановлено, що саме периферична ланка визначає можливість утримання високих значень $\dot{V}O_2$ у режимі критичної потужності, попри зростання метаболічного ацидозу та зниження дифузійної ефективності.

Таким чином, комплексний аналіз каскадів масопереносу респіраторних газів дозволив обґрунтувати закономірності перебудови систем транспорту й утилізації O_2 при різних режимах м'язової діяльності, визначити межі їх функціональних можливостей та підтвердити ключову роль інтеграції центральних і периферичних механізмів у забезпеченні спеціальної працездатності спортсменів.

5.2 Особливості функціонального стану організму при короткочасному максимальному навантаженні (Test 30) та відновленні після нього

Під час *30 секундного максимального навантаження (Test 30)* демонструють, що дана модель роботи є високочутливим індикатором потужності та реактивності систем енергозабезпечення при обмеженій реалізації їх аеробної ємності.

Встановлено, що короткочасне максимальне навантаження (Test 30) характеризується вираженим O_2 -дефіцитом та домінуванням анаеробного

гліколізу, що узгоджується з сучасними уявленнями про енергозабезпечення високої потужності (Cairns, Lindinger, 2025) [17].

Низькі значення $\dot{V}O_2$ при високих $\dot{V}CO_2$ та вентиляційних еквівалентах підтверджують активну буферизацію метаболічного ацидозу, що відповідає механізмам лактат-індукованої вентиляційної відповіді. Водночас виявлена інерційність кардіореспіраторної відповіді (10–15 с) узгоджується з концепцією $\dot{V}O_2$ -кінетики та затримки включення аеробного компоненту (Poole, Jones, 2012) [92].

Разом з тим, значна тканинна екстракція O_2 при обмеженій центральній відповіді свідчить про провідну роль периферичних механізмів у короткочасних навантаженнях, що доповнює дані про важливість мікроциркуляції та мітохондріальної активності (Broxterman et al., 2024) [17].

Особливо важливим є те, що фаза відновлення виявилася інформативним показником функціональної зрілості системи, що узгоджується з концепцією ЕРОС як інтегрального показника метаболічного стресу та відновлення (Borsheim, Bahr; сучасні огляди). *Фаза відновлення, як показник функціональної зрілості системи.* Після Test 30 спостерігається виражена гіпервентиляційна та гемодинамічна відповідь, зростання O_2 -ефекту серцевого та дихального циклів, підвищення венозної сатурації та нормалізація RER. Це свідчить про ефективну компенсацію метаболічного ацидозу (La 5,4–7,4 ммоль/л; pH 7,29–7,38) та високий адаптаційний потенціал спортсменів. Спостерігалась виражена вентиляційно-альвеолярна активація при обмеженні системного транспорту O_2 . У відновленні відбувається перерозподіл каскадів масопереносу із зростанням потоків $q_I O_2$, $q_A O_2$, $q_a O_2$ та $q_t O_2$ у 3–6 разів, що відображає інтенсивне погашення ЕРОС.

Узагальнення дослідження показників зареєстрованих в Test 30 та у період відновлення після нього відображає стан максимальної мобілізаційної напруги систем транспорту та утилізації O_2 при обмеженій часовій можливості реалізації аеробної ємності. У структурі відповіді домінує периферичний

механізм підвищення $\dot{V}O_2$ (через збільшення $C_{a-v}O_2$), тоді як центральна ланка (серцевий викид, вентиляція) реалізує потенціал із часовою затримкою.

Фаза відновлення є не менш інформативною, ніж сама фаза навантаження, оскільки саме в ній повною мірою проявляється ємність кардіореспіраторної системи, ефективність буферних механізмів та швидкість відновлення гомеостазу.

Таким чином, Test 30 може розглядатися як валідна модель оцінки: потужності та ємності КРС; реактивності системи транспорту O_2 ; типологічних варіантів енергетичного забезпечення; ефективності компенсації ЕРОС; індивідуального адаптаційного потенціалу спортсменів.

Отримані результати підтверджують, що короткочасне максимальне навантаження є чутливим інструментом диференційованої оцінки функціонального стану та може бути використане для науково обґрунтованої індивідуалізації тренувального процесу.

5.3 Особливості функціонального стану організму у степ-тесті при різних рівнях навантаження

Навантаження на рівні інтенсивності $65\%\dot{V}O_{2max}$ характеризується формуванням стійкого аеробного стану, що відображає найбільш економічний режим функціонування кардіореспіраторної системи (КРС) у тренуваних спортсменів та оптимальну узгодженість усіх ланок транспорту і утилізації O_2 (Wasserman et al., 2012; Ferretti et al., 2022).

Медіанні значення $\dot{V}O_2$ ($\approx 3,7$ л/хв) та $RER < 1,0$ свідчать про переважання окисного фосфорилування та відсутність вираженого O_2 -дефіциту. На відміну від Test 30, у цій зоні енергозабезпечення повністю покривається аеробними механізмами, що забезпечує стабільність КЛС та мінімальне накопичення продуктів анаеробного обміну.

Стабільно високі значення $\dot{V}_E$ (≈ 86 л/хв) та $\dot{V}_A$ (≈ 64 л/хв) у поєднанні з помірним зростанням частоти дихання (≈ 20 д.ц./хв) і великим дихальним

об'ємом ($\approx 3,9$ л) створюють сприятливі умови для дифузії O_2 ($D_L O_2$ з компактним IQR). Показники HR (131–143 скор./хв), ударного об'єму (215–233 мл) та $\dot{Q}$ ($\approx 36,9$ л/хв) відповідають найбільш економічному режиму роботи серцево–судинної системи – максимальне збільшення хвилинного об'єму крові досягається переважно за рахунок зростання SV при відносно помірній тахікардії.

Зменшення $C_{a-v} O_2$ до 11,9 об. % та підвищення $S_v O_2$ до 40% свідчать про узгодженість доставки та споживання O_2 без надмірного залучення резервів екстракції. Стабільні $S_a O_2$ і $C_a O_2$ підтверджують достатній O_2 –резерв крові та ефективну легеневу сатурацію.

У зоні $65\% \dot{V} O_{2max}$ формується компактний IQR значень потоків $q O_2$, що відображає високий ступінь регуляторної узгодженості. $E_f q a O_2$ і $E_f q v O_2$ досягають максимальних для аеробної роботи значень.

Значне зростання $W q_1 O_2$ та відповідних альвеолярних і артеріальних компонентів відображає інтенсифікацію масопереносу при пропорційному зростанні механічної потужності. У цій зоні спостерігається найбільш раціональне співвідношення між енергетичними витратами та виконаною роботою.

$E q O_2$ у зоні $65\% \dot{V} O_{2max}$ демонструє пік економічності вентиляції, тоді як $E q CO_2$ та $E q P_A CO_2$ залишаються в межах стабільної регуляції. Підвищення $O_2 HR$ і $O_2 RC$ відображає ефективне використання кожного серцевого та дихального циклу. HE (8,2–8,7 л/л) свідчить про значне, але раціональне навантаження на серцево–судинну систему без ознак перевантаження.

Широкий діапазон $^{TD} O_2$, τO_2 та інших параметрів $\dot{V} O_2$ –кінетики вказує на індивідуальні особливості швидкості формування аеробного компоненту енергозабезпечення. Час досягнення $T^{65\%} O_2$ (IQR 1:05–2:05 хв) є чутливим маркером функціонального стану. Менші значення відображають високу швидкість $\dot{V} O_2$ –кінетики та готовність до аеробної роботи, тоді як більші можуть свідчити про залишкову втому або часткову залежність від анаеробного компоненту на старті навантаження.

Зона інтенсивності $65\%\dot{V}O_{2\max}$ відповідає найбільш збалансованому та економічному режиму функціонування систем енергозабезпечення. На відміну від Test 30, де домінує анаеробний профіль і спостерігається інерційність КРС, у цій зоні досягається: повна реалізація аеробного потенціалу без формування вираженого O_2 -дефіциту; оптимальна інтеграція вентиляційної, гемодинамічної та тканинної ланок; компактність міжіндивідуальної варіабельності показників; максимальна економічність транспорту і використання O_2 .

Таким чином, навантаження $65\%\dot{V}O_{2\max}$ можна розглядати як *фізіологічний еталон аеробної ефективності*, що відображає узгодженість регуляторних механізмів КРС та є інформативним критерієм оцінки функціональної готовності і витривалості спортсменів.

Навантаження на рівні інтенсивності роботи $85\%\dot{V}O_{2\max}$. характеризується переходом до зони субмаксимальної інтенсивності, де формується напружений, але ще контрольований аеробний режим із залученням анаеробної гліколітичної складової. У цій зоні відбувається максимальна інтеграція вентиляційної, гемодинамічної та тканинної ланок транспорту O_2 при зростанні вартості його забезпечення (Benítez–Muñoz et al., 2025; Kaufmann et al., 2023).

Підвищення $\dot{V}O_2$ до $\approx 4,7$ л/хв і $\dot{V}CO_2$ до $\approx 3,9$ л/хв у поєднанні зі зростанням RER свідчить про часткове підключення анаеробного гліколізу. Варіативність $\dot{V}CO_2$ відображає індивідуальні відмінності у співвідношенні аеробної ємності та лактатної продуктивності. Таким чином, $85\%\dot{V}O_{2\max}$ відповідає зоні метаболічного переходу (VT_2), де аеробні механізми ще домінують, але працюють у стані підвищеної напруги.

Зростання $\dot{V}_E$ (≈ 125 л/хв) і $\dot{V}_A$ (≈ 97 л/хв) при підвищенні частоти дихання до 30 д.ц./хв свідчить про перехід до менш економічного типу вентиляції. Зниження D_{LO_2} (≈ 154 мл/мм рт.ст.) та збільшення альвеолярно–артеріальної різниці вказують на початок функціональних обмежень газообміну. HR (≈ 164 скор./хв) при стабільному $\dot{Q}$ відображає переорієнтацію

регуляції хвилинного об'єму крові за рахунок частоти серцевих скорочень, що є типовим для субмаксимальної інтенсивності.

Зниження S_vO_2 (32,5–37,0%) та C_vO_2 підтверджує активізацію тканинної екстракції O_2 . Водночас стабільність $C_{a-v}O_2$ та артеріальних показників свідчить про збереження системної доставки. Це відповідає переходу до третього ступеня ГН без критичного порушення РМК.

Усі потоки qO_2 значно зростають, а показники $Q3\text{--}max$ (qIO_2 до 43,1 л/хв; qtO_2 до 6,2 л/хв) демонструють досягнення фізіологічно граничних швидкостей транспорту O_2 . Підвищення $Ef\ qIO_2$ та $Ef\ qAO_2$ при стабільних $Ef\ qAO_2$ і $Ef\ qVO_2$ вказує на напруження центральної ланки при відносній стабільності $\dot{V}O_2$. Посилення O_2ER_L та зниження KU_LO_2 відображає зростання ролі легеневої компенсації у підтриманні газообміну.

Зростання «кисневої вартості» роботи $WqIO_2$ ($\approx 76,5$ мл/W) та відповідні альвеолярні й артеріальні компоненти суттєво зростають, що свідчить про підвищення енергетичної ціни одиниці механічної потужності. Це відображає зниження економічності порівняно із зоною $65\%\dot{V}O_{2max}$ та наближення до меж аеробної ємності.

Вентиляційний еквівалент за O_2 демонструє експоненційне зростання, за P_ACO_2 – підвищується, E_{qCO_2} виходить із оптимальної зони, що відображає накопичення CO_2 та посилення вентиляційної компенсації. Незначне зниження HE при одночасному зростанні O_2HR і O_2RC свідчить про високий рівень системного транспорту O_2 , але з тенденцією до зменшення економічності.

Таким чином виявлено, що зона $85\%\dot{V}O_{2max}$ характеризується станом функціонального напруження при збереженні ефективності аеробного забезпечення. На відміну від $65\%\dot{V}O_{2max}$, де домінує економічність, у цій зоні відбувається: зростання ролі анаеробного компоненту; підвищення вентиляційної та гемодинамічної вартості роботи; наближення швидкостей масопереносу O_2 до фізіологічних меж; зниження дифузійної ефективності

при збільшенні абсолютних об'ємів вентиляції; підвищення кисневої вартості одиниці потужності.

Таким чином, навантаження $85\% \dot{V}O_{2\max}$ можна розглядати як зону максимальної напруги систем транспорту та утилізації O_2 , яка відображає резерви адаптації, толерантність до метаболічного стресу та ступінь наближення до меж індивідуальної аеробної ємності спортсмена.

Робота на рівні інтенсивності $\dot{V}O_{2\max}$ характеризується досягненням граничної аеробної продуктивності та максимальної інтеграції всіх ланок РМК при одночасному формуванні вираженого метаболічного ацидозу. Отримані дані свідчать про реалізацію як потужності, так і ємності КРС на межі її фізіологічних можливостей.

Досягнення $\dot{V}O_2$ 5,3–5,6 л/хв (max 6,2 л/хв) підтверджує високий рівень аеробної підготовленості спортсменів. Підвищення $\dot{V}CO_2$ (до 5,7–6,3 л/хв) та $RER > 1,1$ свідчить про повну активацію анаеробного гліколізу й буферних механізмів. Високі концентрації лактату (до 12,9 ммоль/л) і зниження рН до 7,05–7,15 відображають глибокий метаболічний ацидоз, що супроводжує досягнення максимального споживання O_2 .

Зростання $\dot{V}_E$ до 182,5 л/хв при високому співвідношенні $\dot{V}_A / \dot{V}_E$ свідчить про повне використання вентиляційних резервів. Підвищення частоти дихання при відносно стабільному V_t відображає перехід до менш економічного типу вентиляції. Зниження D_{LO_2} і збільшення альвеолярно–артеріальної різниці (високий P_{AO_2} при зниженому P_{aO_2} 51–54 мм рт.ст.) свідчать про дифузійно–перфузійні обмеження. HR (≈ 185 скор./хв) і $\dot{Q}$ (до 48 л/хв) досягають пікових значень, підтверджуючи граничну мобілізацію серцево–судинної системи.

Зниження S_vO_2 до $\approx 20\%$ та підвищення $C_{a-v}O_2$ (13–15 об.%) відображають практично повне використання доступного O_2 тканинами. Мінімальні значення P_vO_2 (≈ 17 мм рт.ст.) свідчать про граничний ступінь $\dot{V}O_2$. Такий профіль відповідає високому рівню тренуваності та здатності організму мобілізувати максимальні резерви O_2 –транспорту.

Показники q_{O_2} у діапазоні Q_3 – max (q_{lO_2} до 43,1 л/хв; q_{tO_2} до 6,2 л/хв) відображають досягнення фізіологічних меж швидкості транспорту O_2 . Еф q_{lO_2} та Еф q_{aO_2} є максимальними, тоді як зниження Еф q_{aO_2} і Еф q_{vO_2} свідчить про насичення периферичних механізмів екстракції. Високі значення O_{2ERL} та O_{2Ert} при зниженні $KUL O_2$ підтверджують зростання «вартості» забезпечення кожного літра спожитого O_2 . Зниження потужності споживання O_2 при стабільно високих артеріальних і венозних потоках відображає досягнення межі ефективності тканинної утилізації.

Зростання $E_{qP_{ACO_2}}$ ($\approx 5,9$ л/мм рт.ст.) характеризує стійку гіпервентиляційну реакцію. Відносна стабільність E_{qCO_2} і E_{qO_2} при максимальних $\dot{V}_E$ свідчить про контрольовану, але напружену регуляцію газообміну. Підвищення O_2HR підтверджує провідну роль серцево–судинної системи у досягненні граничної продуктивності.

Тривалість виходу на стабільний рівень $\dot{V}O_{2max}$ (≈ 9 – 12 хв) відображає здатність підтримувати високу інтенсивність у межах «повільної» фази O_2 –кінетики та може розглядатися як маркер аеробної ємності та спеціальної витривалості.

Таким чином виявлено, що зона $\dot{V}O_{2max}$ характеризується: максимальною реалізацією аеробної потужності; граничною мобілізацією вентиляційної та серцево–судинної систем; повною активацією анаеробного гліколізу та буферних механізмів; максимальним ступенем тканинної екстракції O_2 ; зростанням дифузійно–перфузійних обмежень і підвищенням O_2 –вартості роботи. Максимальна тканинна екстракція O_2 та зниження P_{vO_2} свідчать про досягнення меж периферичної утилізації, що узгоджується з сучасними даними про роль м'язового рівня у визначенні $\dot{V}O_{2max}$ [17].

Отже, досягнення $\dot{V}O_{2max}$ відображає межу інтегративних можливостей кардіореспіраторної системи та тканинної утилізації O_2 . Поєднання високих абсолютних значень $\dot{V}O_2$ із вираженим метаболічним ацидозом свідчить про високий рівень функціональної підготовленості спортсменів і дозволяє

розглядати цю зону як критичний маркер аеробної ємності та адаптаційного потенціалу.

5.4 Функціональні можливості організму в режимі критичної потужності

Робота в режимі критичної потужності ($CP \dot{V}O_2$) характеризується тривалим утриманням показників, близьких або навіть перевищуючих $\dot{V}O_{2max}$, за умов прогресуючого метаболічного ацидозу та повного вичерпання функціональних резервів. Отримані результати свідчать, що CP є інтегральною моделлю оцінки максимальної аеробної ємності в умовах наростаючої втоми (Caen et al., 2024).

Показники $\dot{V}O_2$ у зоні $CP \dot{V}O_2$ залишаються на рівні $\dot{V}O_{2max}$, що підтверджує здатність спортсменів підтримувати високу швидкість окисних процесів навіть у стані виснаження. Водночас зростання вентиляційних еквівалентів та варіабельність $\dot{V}CO_2$ відображають напруження буферних механізмів і компенсаторну гіпервентиляцію (Adrogué et al., 2022).

Легенева та альвеолярна вентиляція (190–210 л/хв та 166–183 л/хв) досягають граничних значень при високій частоті дихання (≈ 52 д.ц./хв). Показники HR (≈ 189 скор./хв) і $\dot{Q}$ (≈ 39 –40 л/хв) відповідають верхній межі функціональних можливостей. Зниження P_aO_2 при стабільно високому P_AO_2 свідчить про вентиляційно–перфузійні та дифузійні обмеження, характерні для роботи на межі аеробної ємності.

Показники S_vO_2 , $C_{a-v}O_2$ та P_vO_2 залишаються близькими до рівня $\dot{V}O_{2max}$, що свідчить про граничну мобілізацію тканинної екстракції O_2 . Мінімальні значення q_vO_2 підтверджують практично повне використання доступного O_2 м'язами.

Показники qO_2 досягають або навіть незначно перевищують значення $\dot{V}O_{2max}$, що відображає оптимізовану адаптацію до роботи високої

інтенсивності. Зниження $KU_L O_2$ та максимальні значення $O_2 ER_L$ і $O_2 ER_t$ підтверджують вичерпання резервів вентиляції, дифузії та утилізації O_2 .

$W_{qI} O_2$ та $W_{qA} O_2$ залишаються на дуже високому рівні, тоді як артеріальна, тканинна і венозна складові демонструють тенденцію до зниження – ознака роботи у режимі функціонального виснаження. Вентиляційні еквіваленти ($E_{qP_A CO_2}$, E_{qCO_2} , E_{qO_2}) зростають, що відображає компенсаторну гіпервентиляцію. НЕ знижується, свідчаючи про досягнення меж серцево–судинної ємності.

Концентрація лактату (до max 15,6 ммоль/л) та зниження рН до 7,03–7,08 підтверджують максимально можливу активацію анаеробного гліколізу. Зниження $P_A CO_2$ демонструє крайню вентиляційну компенсацію КЛС. Формування індивідуального кислотно–лужного профілю дозволяє оцінити як потужність, так і ємність анаеробного механізму та ефективність компенсаторних стратегій.

Таким чином зробили висновки, що режим $CP \dot{V}O_2$ характеризується: тривалим утриманням показників, близьких до $\dot{V}O_{2max}$; максимальною напругою вентиляційної та серцево–судинної систем; граничною тканинною екстракцією O_2 ; зростанням вентиляційно–перфузійних обмежень; глибоким метаболічним ацидозом при збереженні високої швидкості окисних процесів.

На відміну від $\dot{V}O_{2max}$, який відображає пікову аеробну потужність, CP характеризує здатність організму утримувати граничний рівень аеробного забезпечення в умовах прогресуючої втоми.

Таким чином, тест $CP \dot{V}O_2$ є найбільш інформативним для оцінки інтегральної аеробної ємності, толерантності до метаболічного ацидозу та рівня спеціальної витривалості спортсменів, оскільки відображає роботу систем транспорту і утилізації O_2 в режимі стабільної граничної напруги.

5.5 Узагальнення результатів та їх науково-практичне значення

Отримані результати були оцінені із застосуванням формалізованого методу квартильного стандартизованого оцінювання (QSGM). Узагальнення показників газообміну, вентиляції, кровообігу, кисневозв'язувальних властивостей крові, режимів масопереносу O_2 , функціональних властивостей КРС та кислотно–лужного стану дозволило оцінити узгодженість центральних і периферичних механізмів транспорту й утилізації O_2 та виявити структурні відмінності адаптаційних профілів спортсменів.

Застосування QSGM забезпечило уніфікацію різномірних фізіологічних показників, дозволило виділити лімітуючі та резервні механізми в структурі енергозабезпечення та підвищило інформативність моніторингу. Отримані дані обґрунтовують можливість використання методу для типологізації адаптаційних можливостей і науково обґрунтованої індивідуалізації тренувального процесу.

У процесі дослідження було отримано три групи даних – дані, які доповнюють і підтверджують наявні уявлення та абсолютно нові.

Дані, які доповнюють уявлення про роль кислотно–лужного профілю крові, як інтегрального критерію толерантності до граничних навантажень. Доведено, що поєднаний аналіз лактату, рН, P_ACO_2 дозволяє оцінити як потужність, так і ємність анаеробного гліколізу та ефективність буферних механізмів.

Дані, які підтверджують діагностичну цінність поєднаного використання $Test\ 30$, $65\%\dot{V}O_{2max}$, $85\%\dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}O_{2max}$ та $CP\ \dot{V}O_2$ як цілісної системи контролю, оцінки і інтерпретації показників потужності, ємності, економічності, реактивних властивостей кардіореспіраторної системи та визначити адаптаційний потенціал спортсменів конкретному виді спорту, спеціалізації, віку і кваліфікації.

Вперше результати комплексного моніторингу кардіореспіраторної системи, кисневозв'язувальних властивостей крові, режимів масопереносу

кисню, функціональних характеристик КРС та кислотно–лужного стану в широкому діапазоні інтенсивностей (Test 30, 65% $\dot{V}O_{2max}$, 85% $\dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}O_{2max}$, CP $\dot{V}O_2$) систематизували закономірності поетапної перебудови центральних і периферичних механізмів транспорту й утилізації O_2 залежно від рівня метаболічної напруги. Це дозволили виявити системні принципи побудови спеціальної функціональної підготовки спортсменів в циклічних видах спорту з проявами витривалості.

Вперше розроблено багатокомпонентну каскадну модель контролю масопереносу кисню. Модель ґрунтується на алгоритмі, певній послідовності дій, які спрямовані на оцінку домінуючих механізмів аеробного енергозабезпечення спортсменів в умовах програмованого зростання інтенсивності від економічного аеробного режиму до граничного інтегрованого фізіологічного напруження навантаження. Модель ґрунтується на характеристиках об'ємних швидкостей потоків (qO_2), їх ефективності (Ef), інтенсивності (Int), «кисневої вартості» механічної роботи (WqO_2), співвідношення легеневої, дифузійної та тканинної ланок (O_2ER_L , O_2ER_t , $KU_L O_2$).

Вперше описано комплексний аналіз реактивності кардіореспіраторної системи (що базується на основі параметрів $\dot{V}O_2$ кінетики ($^{TD}O_2$, τO_2 , $\Delta \dot{V}O_2$ та ін).

Вперше описано показник WqO_2 (л/В), що характеризує обсяг O_2 , необхідний для виконання фізичної роботи у конкретний момент часу, та включено його до структури аналізу режимів масопереносу кисню.

Вперше розроблено метод квартильного стандартизованого оцінювання індивідуальних профілів адаптаційних можливостей спортсменів, який базується на аналізі медіанних значень, міжквартильного діапазону (IQR) та граничних характеристик показників та їх формалізовану оцінку. Метод забезпечує об'єктивізацію порівняльного аналізу, дозволяє визначати індивідуальні межі функціональних резервів, їх типологічні особливості. що

підвищує точність диференційованої оцінки та інтерпретації результатів фізіологічних досліджень.

Таким чином, *наукова новизна* полягає у створенні інтегрованої концепції оцінювання функціональних резервів і типологічних особливостей енергозабезпечення спортсменів на основі каскадного аналізу масопереносу O_2 та квартильної стандартизації індивідуальних профілів адаптації.

Це дає підстави для продовження дослідження в цьому напрямі. Є підстави вважати, що вони ґрунтуються на детальному вивченні режимів швидкісної роботи, які за останніми даними потребують потужний вклад кардіореспіраторної системи і аеробного енергозабезпечення роботи.

Результати п'ятого розділу були висвітлені у даних працях [28, 138, 139, 141, 142, 143, 146, 147, 153, 157, 158, 159].

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу літературних джерел встановлено, що існуючі підходи до оцінки функціональних можливостей спортсменів, які базуються на окремих фізіологічних показниках, не дозволяють повною мірою охарактеризувати цілісну структуру адаптаційних реакцій. Це обґрунтовує необхідність розробки інтегративних підходів до моніторингу, що поєднують показники різних функціональних систем і передбачають їх формалізовану інтерпретацію.

2. Розроблено та апробовано методологію комплексного фізіологічного моніторингу в лабораторних умовах, яка забезпечує оцінку функціонального стану та резервних можливостей спортсменів на основі інтеграції показників дихальної системи, кардіогемодинаміки, газотранспортної функції крові та метаболічних характеристик енергозабезпечення. Моніторинг функціонального стану та резервних можливостей організму спортсменів включає у себе 13 блоків, розділених на 3 групи (фізіологічні характеристики, режими масопереносу кисню, функціональні характеристики) та 5 додаткових типологічних особливостей.

3. На підставі власних експериментальних даних встановлено, що при виконанні навантажень різної інтенсивності у спортсменів високої кваліфікації формується узгоджена інтегративна відповідь кардіореспіраторної та метаболічної систем, яка характеризується ефективним забезпеченням тканин киснем, адекватною елімінацією CO_2 та компенсованими зрушеннями кислотно-лужного стану. Це проявляється оптимальними значеннями VO_2 , збалансованими гемодинамічними реакціями та стабільністю гомеостатичних показників, що свідчить про відповідність функціонального стану вимогам високої інтенсивності навантажень.

4. На основі отриманих групових даних сформовано модельні характеристики фізіологічних параметрів, режимів масопереносу кисню, показників анаеробного гліколізу та механізмів компенсації втоми для

спортсменів відповідного рівня підготовленості, що можуть використовуватись як орієнтири для порівняльного аналізу. Так, на рівні інтенсивності $65\%\dot{V}O_{2\max}$ його споживання (тут і далі вказаний IQR показників) 3,6–3,8 л/хв та дихальний коефіцієнт $< 1,0$ свідчать про переважання окисного фосфорилування та відсутність вираженого O_2 -дефіциту. Навантаження інтенсивністю $85\%\dot{V}O_{2\max}$ супроводжується, відповідно, споживанням 4,6–4,7 л/хв і дихальним коефіцієнтом $> 1,0$, тобто спостерігається відносно стійкий сталий стан організму. При максимальному навантаженні $\dot{V}O_2$ досягає 5,3–5,6 л/хв, а в окремих спортсменів – до 6,2 л/хв, але значне збільшення надлишкового CO_2 свідчить про істотний вклад анаеробного гліколізу. Тобто, відбувається аеробно – анаеробний режим енергозабезпечення роботи.

5. Вперше розроблено метод квартильного стандартизованого оцінювання (QSGM), який забезпечує уніфікацію різнорідних фізіологічних показників шляхом їх трансформації у бальну шкалу (1–5) на основі квартильного розподілу. У основі методу покладено квартильну статистику, що на відміну від традиційних підходів, не потребує припущення про нормальність розподілу та дозволяє оцінювати показники відносно структури вибірки, що підвищує чутливість до індивідуальних відмінностей, так, замість середнього значення і стандартного відхилення, які чутливі до асиметрії та поодиноких екстремальних величин, медіанне значення показника та інтерквартильний розмах відображають центральні 50% вибірки і є робастними характеристиками варіації (тобто такими, що змінюються незначно під впливом викидів та неоднорідного розподілу); а також підхід нормо-реферального оцінювання, що забезпечує розподіл балів за нормованими для групи показниками, а не стандартними критеріями.

6. Показано, що застосування методу QSGM дозволяє ідентифікувати рівень розвитку окремих функціональних ланок (вентиляційної, гемодинамічної, газообмінної, киснево-транспортної та метаболічної) та дає можливість для відстеження динаміки змін параметрів у

кожного окремого спортсмена. Середній бал за блок 4,0 та вище може вказувати на домінування тієї чи іншої ланки транспорту O_2 , в той час, як 2,0 та нижче – на лімітуючу ланку. Суть моніторингу розкривається у динаміці показників кожного окремого спортсмена на різних етапах модуляції навантаження.

7. Розроблено та апробовано метод формування кислотно-лужного профілю спортсмена, який дозволяє кількісно та якісно оцінити можливості анаеробного гліколітичного енергозабезпечення та ефективність компенсації метаболічного ацидозу, що формується за наступними показниками: парціальний тиск вуглекислого газу у альвеолярній крові (P_{ACO_2} ммоль/л), кислотність крові pH, лактат La (ммоль), а також розрахункових показників $La \frac{T30}{CP}$, ΔLa , ΔpH . Встановлено, що аналіз цього профілю у поєднанні з показниками газообміну дозволяє визначити рівень толерантності до гіпоксії навантаження та особливості її компенсації.

8. Вперше систематизовано та обґрунтовано типологічні особливості функціонального стану та адаптаційних реакцій організму спортсменів, які включають: тип інтегральної відповіді кардіореспіраторної системи, тип її реактивності, киснево-лужний профіль, механізми формування та компенсації гіпоксії, а також функціональну спрямованість (швидкісна, витривалісна, змішана). Показано, що їх поєднання дозволяє виявляти провідні ланки обмеження або компенсації працездатності.

9. Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка стандартизованих інтегративних підходів до оцінки систем масопереносу респіраторних газів із включенням не лише кисню, але й вуглекислого газу, розширення методів індивідуалізованого моніторингу функціонального стану організму для використання у практиці різних видів спорту та рухової активності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Adrogué H. J., Tucker B. M., Madias N. E. Clinical approach to assessing acid–base status: Physiological vs Stewart. *Advances in Chronic Kidney Disease*. 2022. Vol. 29, no. 4. P. 343–354. DOI: 10.1053/j.ackd.2022.04.008.
2. Andersen O. S., Engel K., Jorgensen K., Astrup P. B. A micro method for determination of pH, carbon dioxide tension, base excess and standard bicarbonate in capillary blood. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*. 1960. Vol. 12. P. 172–176.
3. Andrade D. C. Peripheral chemoreceptor, a new player in metabolic sensing during physical exertion: a hypothetical scenario. *Journal of Neurophysiology*. 2025. Vol. 133, no. 1. P. 193–202. DOI: 10.1152/jn.00503.2024.
4. Astrand P. O., Rodahl K. *Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise*. 3rd ed. New York : McGraw–Hill, 1986.
5. Bakunovsky O. M., Rozova K. V., Pastukhova V. A., Portnichenko V. I., Portnichenko A. G. Influence of periodic moderate linear accelerations of variable direction on central hemodynamics. *Fiziologichnyi Zhurnal*. 2021. Vol. 67, no. 4. P. 21–28. DOI: 10.15407/fz67.04.021.
6. Bassett D. R., Howley E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2000. Vol. 32, no. 1. P. 70–84. DOI: 10.1097/00005768-200001000-00012.
7. Benítez–Muñoz J. A., Alcocer–Ayuga M., Cupeiro R., Guisado–Cuadrado I., Rojo–Tirado M. Á., Alfaro–Magallanes V. M., Romero–Parra N., Aparecida–Castro E., Ramos–Campo D. J., Armero–Sotillo A., Peinado A. B., Benito P. J. Ventilatory thresholds differences according to aerobic fitness level in 1450 males and 241 females on cycle–ergometer: a cross–sectional study. *European Journal of Sport Science*. 2025. Vol. 25, no. 7. Art. e12323. DOI: 10.1002/ejsc.12323.

8. Benner A., Patel A. K., Singh K., Dua A. Physiology, Bohr Effect. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2023.
9. Bersiner K., Park S. Y., Schaaf K., Yang W. H., Theis C., Jacko D., Gehlert S. Resistance exercise: a mighty tool that adapts, destroys, rebuilds and modulates the molecular and structural environment of skeletal muscle. *Physical Activity and Nutrition*. 2023. Vol. 27, no. 2. P. 78–95. DOI: 10.20463/pan.2023.0021.
10. Bezodis I. N. et al. Acute sprint interval training protocols and anaerobic capacity in 200–m sprinters. *Frontiers in Physiology*. 2025.
11. Bhakta N. R., McGowan A., Ramsey K. A., Borg B., Kivastik J., Knight S. L., Sylvester K., Burgos F., Swenson E. R., McCarthy K., Cooper B. G., García-Río F., Skloot G., McCormack M., Mottram C., Irvin C. G., Steenbruggen I., Coates A. L., Kaminsky D. A. European Respiratory Society/American Thoracic Society technical statement: standardisation of the measurement of lung volumes, 2023 update. *European Respiratory Journal*. 2023. Vol. 62, no. 4. Art. 2201519. DOI: 10.1183/13993003.01519–2022.
12. Bojarczuk A. et al. Sprinters' and marathon runners' muscle fiber composition and performance correlations. *Sports*. 2025. DOI: 10.3390/sports13030074.
13. Born D.–P., Lomax I., Rüeger E., Romann M. Normative data and percentile curves for long–term athlete development in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2022. Vol. 25, no. 3. P. 266–271. DOI: 10.1016/j.jsams.2021.10.002.
14. Braun–Trocchio R., Graybeal A. J., Kreutzer A., Warfield E., Renteria J., Harrison K., Williams A., Moss K., Shah M. Recovery strategies in endurance athletes. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 2022. Vol. 7, no. 1. Art. 22. DOI: 10.3390/jfmk7010022.
15. Broxterman R. M., Wagner P. D., Richardson R. S. Endurance exercise training changes the limitation on muscle $\dot{V}O_{2\max}$ in normoxia from the capacity to

utilize O₂ to the capacity to transport O₂. *Journal of Physiology*. 2024. Vol. 602, no. 3. P. 445–459. DOI: 10.1113/JP285650.

16. Caen K., Poole D., Vanhatalo A., Jones A. Critical power and maximal lactate steady state in cycling: “Watts” the difference? *Sports Medicine*. 2024. Vol. 54. P. 2497–2513. DOI: 10.1007/s40279-024-02075-4.

17. Cairns S. P., Lindinger M. I. Lactic acidosis: implications for human exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*. 2025. Vol. 125, no. 7. P. 1761–1795. DOI: 10.1007/s00421-025-05750-0.

18. Calvo J. L., Xu H., Mon-López D. et al. Effect of sodium bicarbonate contribution on energy metabolism during exercise: a systematic review and meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2021. Vol. 18. Art. 11. DOI: 10.1186/s12970-021-00410-y.

19. Castañeda-Babarro A., Etayo-Urtasun P., León-Guereño P. Genetic variants that influence performance on the Wingate anaerobic test: a systematic review. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*. 2022. Vol. 11, no. 2. P. 13–19. DOI: 10.26773/mjssm.220902.

20. Cosarderelioglu C., Walston J. D., Abadir P. M. From frailty to resilience: exploring adaptive capacity and reserve in older adults – a narrative review. *Frontiers in Aging*. 2025. Vol. 6. Art. 1520842. DOI: 10.3389/fragi.2025.1520842.

21. Dai W., Guo R., Na X., Jiang S., Liang J., Guo C., Fang Y., Na Z., Li D. Hypoxia and the endometrium: an indispensable role for HIF-1 α as therapeutic strategies. *Redox Biology*. 2024. Vol. 73. Art. 103205. DOI: 10.1016/j.redox.2024.103205.

22. de Oliveira L. F., Dolan E., Swinton P. A., Durkalec-Michalski K., Artioli G. G., McNaughton L. R., Saunders B. Extracellular buffering supplements to improve exercise capacity and performance: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 2022. Vol. 52, no. 3. P. 505–526. DOI: 10.1007/s40279-021-01575-x.

23. Dempsey J. A., Wagner P. D. Exercise-induced arterial hypoxemia. *Journal of Applied Physiology*. 1999. Vol. 87, no. 6. P. 1997–2006. DOI: 10.1152/jappl.1999.87.6.1997.
24. Diachenko A., Rusanova O., Huang Zijian, Gao Xueyan, Guo Jia, Ye Chenqing. Functional and physical capacity indicators of kayakers racing 1000, 500, and 200 m distances: a randomized study. *Journal of Physical Education and Sport*. 2021. Vol. 21, no. 3. P. 1325–1330. DOI: 10.7752/jpes.2021.03168.
25. Diachenko A., Pengcheng G., Wang W., Rusanova O., Kong X., Shkrebtii Y. Characteristics of the special physical fitness of paddlers at a distance of 200 m. *Physical Education Theory and Methodology*. 2021. Vol. 21, no. 1. P. 43–49. DOI: 10.17309/tmfv.2021.1.06.
26. Diachenko A., Pengcheng G., Yevpak N., Rusanova O., Kiprych S. Neurohumoral components of rapid reaction kinetics of the cardio-respiratory system of kayakers. *Sport Mont*. 2021. Vol. 19, suppl. 2. P. 29–33.
27. Danković G, Lazić A, Andrieieva O, Korobeinikov G, Stanković D, Trajković N. Effects of high-intensity interval training on physical fitness and body composition in recreationally active females: a systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*. 2025. Vol.15. No. 1. P. 3982. (Scopus,Q1). DOI: 10.1186/s40798-023-00623-2
28. Diachenko O., Komolafe D., Filippov M., Ilyin V., Guo Zhenhao. Characteristics of functional support for specialized physical performance in rowers. *Bulletin of Problems Biology and Medicine*. 2023. No. 4(171). P. 99–107. DOI: 10.29254/2077-4214-2023-4-171-99-107.
29. Diaz-Canestro C., Pentz B., Sehgal A., Montero D. Differences in cardiac output and aerobic capacity between sexes are explained by blood volume and oxygen carrying capacity. *Frontiers in Physiology*. 2022. Vol. 13. Art. 747903. DOI: 10.3389/fphys.2022.747903.
30. Dominelli P. B., Molgat-Seon Y. Sex, gender and the pulmonary physiology of exercise. *European Respiratory Review*. 2022. Vol. 31, no. 163. Art. 210074. DOI: 10.1183/16000617.0074-2021.

31. Dominelli P. B., Sheel A. W. The pulmonary physiology of exercise. *Advances in Physiology Education*. 2024. Vol. 48, no. 2. P. 238–251. DOI: 10.1152/advan.00067.2023.
32. Dominelli P. B., Wiggins C. C., Roy T. K., Secomb T. W., Curry T. B., Joyner M. J. The oxygen cascade during exercise in health and disease. *Mayo Clinic Proceedings*. 2021. Vol. 96, no. 4. P. 1017–1032. DOI: 10.1016/j.mayocp.2020.06.063.
33. Dreher S. I., Irmeler M., Pivovarov–Ramich O., Kessler K., Jürchott K., Sticht C., Fritsche A., Schneeweiss P., Machann J., Pfeiffer A. F. H., Hrabě de Angelis M., Beckers J., Birkenfeld A. L., Peter A., Niess A. M., Weigert C., Moller A. Acute and long-term exercise adaptation of adipose tissue and skeletal muscle in humans: a matched transcriptomics approach after 8-week training intervention. *International Journal of Obesity*. 2023. Vol. 47, no. 4. P. 313–324. DOI: 10.1038/s41366-023-01271-y.
34. Driller M. W., Argus C. K., Shing C. M. The reliability of a 30-s sprint test on the Wbike cycle ergometer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2013. Vol. 8, no. 4. P. 379–383. DOI: 10.1123/ijsp.8.4.379.
35. Durand S., Millet G. P., Faiss R. Exercise-induced hypoxemia in endurance athletes. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2021. Vol. 3. Art. 663674. DOI: 10.3389/fspor.2021.663674.
36. Ekström M., Mannino D. Research race-specific reference values and lung function impairment, breathlessness and prognosis: analysis of NHANES 2007–2012. *Respiratory Research*. 2022. Vol. 23, no. 1. Art. 271. DOI: 10.1186/s12931-022-02194-4.
37. Ferretti G., Fagoni N., Taboni A., Vinetti G., di Prampero P. E. A century of exercise physiology: key concepts on coupling respiratory oxygen flow to muscle energy demand during exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 2022. Vol. 122, no. 6. P. 1317–1365.
38. Filippov M. Conditions for carbon dioxide formation and transfer in the course of muscular activity. *Science in Olympic Sport*. 2019. No. 4. P. 17–23.

39. Filippov M. M., Davidenko D. N. *Physiological mechanisms of development and compensation of the state of hypoxia in the process of adaptation to muscular activity*. St. Petersburg ; Kyiv : BPA, 2010. 260 p.
40. Filippov M. M., Ilyin V. M., Portnychenko V. I. Functional factors providing conditions for mass transfer of respiratory gases during muscular activity in the mountains. *Cherkasy University Bulletin: Biological Sciences Series*. 2025. DOI: 10.31651/2076–5835–2018–1–2025–1–102–112.
41. Fitts R. The role of acidosis in fatigue: pro perspective. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2016.
42. Fletcher W. M. Lactic acid in amphibian muscle. *The Journal of Physiology*. 1907. Vol. 35, no. 4. P. 247–309. DOI: 10.1113/jphysiol.1907.sp001194.
43. García–Gil M. et al. Quantile scoring methods in epidemiology: a practical guide. *European Journal of Epidemiology*. 2021. Vol. 36. P. 345–356. DOI: 10.1007/s10654–021–00735–8.
44. Gerasimenko S., Vasylenko D. Diagnostics of parameters of individual adaptation capabilities of female students of higher education institutions. In: *Current problems of physical education of different segments of the population*. 2023. P. 42–46.
45. Goncharenko V. V., Lytvynenko I. M. Otsinka fizychnoho stanu studentiv, yaki zaimaiutsia sportom [Assessment of the physical condition of students involved in sports]. *Scientific Journal of Physical Culture and Sports*. 2021. P. 78–82.
46. Goodwin M. L., Harris J. E., Hernández A., Gladden L. B. Blood lactate measurements and analysis during exercise: a guide for clinicians. *Journal of Diabetes Science and Technology*. 2007. Vol. 1, no. 4. P. 558–569. DOI: 10.1177/193229680700100414.
47. Grassi B., Hogan M. C., Alemayehu H. K., Aschenbach W. G., Hamann J. J., Kelley K. M., Wagner P. D., Gladden L. B. Combination of hyperoxia and a right-shifted HbO₂ dissociation curve delays $\dot{V}O_2$ kinetics during maximal

contractions in isolated muscle. *Journal of Applied Physiology*. 2023. Vol. 135, no. 2. P. 456–466. DOI: 10.1152/jappphysiol.00131.2023.

48. Guazzi M., Adams V., Conraads V., Halle M., Mezzani A., Vanhees L., Arena R., Fletcher G. F., Forman D. E., Kitzman D. W., Lavie C. J., Myers J. EACPR/AHA joint scientific statement on cardiopulmonary exercise testing. *European Heart Journal*. 2017. Vol. 38, no. 27. P. 1933–1950.

49. Hamaker M., Gijzel S., Rostoft S., van den Bos F. Intrinsic capacity and resilience: taking frailty to the next level. *Journal of Geriatric Oncology*. 2023. Vol. 14, no. 2. Art. 101421. DOI: 10.1016/j.jgo.2022.101421.

50. Hill A. V., Lupton H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *QJM*. 1923. Vol. 16, no. 62. P. 135–171.

51. Hill D. W., Poole D. C., Smith J. C. The relationship between power and the time to achieve $\dot{V}O_{2\max}$. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2002. Vol. 34, no. 4. P. 709–714.

52. Impellizzeri F. M., McCall A., Ward P. et al. Training load and its role in injury prevention: back to the future. *British Journal of Sports Medicine*. 2023.

53. Inglis E. C., Rasica L., Iannetta D. et al. Exercise training-induced speeding of $\dot{V}O_2$ kinetics is not intensity domain-specific or correlated with indices of exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*. 2025. Vol. 125. P. 1297–1310. DOI: 10.1007/s00421-024-05674-1.

54. James L., Haycraft J., Carey D., Robertson S. A framework for test measurement selection in athlete physical preparation. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2024. Vol. 6. Art. 1406997. DOI: 10.3389/fspor.2024.1406997.

55. Jana S., Alayash A. I. Exploring the molecular interplay between oxygen transport, cellular oxygen sensing, and mitochondrial respiration. *Antioxidants & Redox Signaling*. 2025. Vol. 42, no. 13–15. P. 730–750. DOI: 10.1089/ars.2023.0428.

56. Korman Sh.-A. S., Lukyantseva H. V. Specific features of the effect of dosed physical exercise on blood microcirculation parameters in young males depending on age and level of training // *Bulletin of Problems of Biology and*

Medicine. 2025. Vol. 4 (179). P. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2026-1-180-569-577>

57. Kaufmann S., Gronwald T., Herold F. et al. Heart rate variability–derived thresholds for exercise intensity prescription in endurance sports: a systematic review of interrelations and agreement with different ventilatory and blood lactate thresholds. *Sports Medicine – Open*. 2023. Vol. 9. Art. 59. DOI: 10.1186/s40798–023–00607–2.

58. Kim T. H., Han J. K., Lee J. Y., Choi Y. C. The effect of polarized training on the athletic performance of male and female cross–country skiers during the general preparation period. *Healthcare*. 2021. Vol. 9. Art. 851.

59. Komolafe D. O., Filippov M. M. Modes of mass transfer of oxygen in the body of untrained teenagers and men during dynamic muscle activity. *Visnyk problem biolohii i medytsyny*. 2023. No. 1. P. 86–91. DOI: 10.29254/2077–4214–2023–1–168–86–91.

60. Komolafe D. O., Filippov M. M. The value of blood oxygen capacity for the development of exercise hypoxia. *Bulletin of Problems Biology and Medicine*. 2023. No. 3(170). P. 158–167. DOI: 10.29254/2077–4214–2023–3–170–158–167.

61. Kong X., Guo P., Rusanova O., Diachenko A. Reaction of the organism to repeated training loads directed to improve performance of qualified rowers of China. *Journal of Physical Education and Sport*. 2019. Vol. 19, suppl. Art. 66. P. 453–460. DOI: 10.7752/jpes.2019.s1066.

62. Korobeynikov G, Chernozub A, Alosyna A, Koval V, Havrylov Y, Sherstiuk L, Potop V, Timnea-Florescu CA, Timnea OC. Resistance of mature and elderly bodybuilders to anaerobic energy supply load. *PeerJ*. 2025. No.13. e19844. (Scopus,Q1) DOI: 10.7717/peerj.19844

63. Kristensen M., Albertsen J., Rentsch M., Juel C. Lactate and force production in skeletal muscle. *The Journal of Physiology*. 2005. Vol. 562, pt. 2. P. 521–526. DOI: 10.1113/jphysiol.2004.078014.

64. Larkin P., Sortino B., Carlon T., Saunders T., Pane C. Gender- and sport-specific normative anthropometric and physical values in talent-identified high school athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2023. Vol. 37, no. 3. P. 606–615. DOI: 10.1519/JSC.00000000000004312.
65. Laursen P. B., Rhodes E. C., Langill R. H., Taunton J. E., McKenzie D. C. Exercise-induced arterial hypoxemia is not different during cycling and running in triathletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2005. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2004.00391.x.
66. Lewis G. D., Tada A., Landsteiner I., Borlaug B. A. Physiologic phenotyping of responses to exercise and activity in heart failure. *Circulation Research*. 2025. Vol. 137, no. 2. P. 290–315. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.125.325534.
67. Li J., Li Y., Atakan M. M., Kuang J., Hu Y., Bishop D. J., Yan X. The molecular adaptive responses of skeletal muscle to high-intensity exercise/training and hypoxia. *Antioxidants*. 2020. Vol. 9, no. 8. Art. 656. DOI: 10.3390/antiox9080656.
68. Li S. N., Peeling P., Scott B. R., Peiffer J. J., Shaykevich A., Girard O. Recovery following exercise-induced fatigue: influence of a single heart rate clamped cycling session under systemic hypoxia. *Journal of Sports Sciences*. 2024. Vol. 42, no. 4. P. 350–357. DOI: 10.1080/02640414.2024.2330816.
69. Liu H., Wang S., Wang J. et al. Energy metabolism in health and diseases. *Signal Transduction and Targeted Therapy*. 2025. Vol. 10. Art. 69. DOI: 10.1038/s41392-025-02141-x.
70. Lock M., Yousef I., McFadden B. et al. Cardiorespiratory fitness and performance adaptations to high-intensity interval training: are there differences between men and women? A systematic review with meta-analyses. *Sports Medicine*. 2024. Vol. 54. P. 127–167. DOI: 10.1007/s40279-023-01914-0.
71. Lourenço T., Nunes L., Martins L., Brenzikofer R., Macedo D. Is the acid-base status at rest related to endurance performance in 10-km runners? *Journal*

of Human Sport & Exercise. 2025. Vol. 20, no. 2. P. 472–484. DOI: 10.14198/jhse.2025.2022.2.8.

72. Macedo A. G., Almeida T. A. F., Massini D. A., de Oliveira D. M., Espada M. C., Robalo R. A. M., Hernández–Beltrán V., Gamonales J. M., Vilela Terra A. M. S., Pessoa Filho D. M. Load monitoring methods for controlling training effectiveness on physical conditioning and planning involvement: a narrative review. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, no. 22. Art. 10465. DOI: 10.3390/app142210465.

73. Macedo A. G., Almeida T. A. F., Massini D. A., de Oliveira D. M., Espada M. C., Robalo R. A. M., Hernández–Beltrán V., Gamonales J. M., Vilela Terra A. M. S., Pessoa Filho D. M. Load monitoring methods for controlling training effectiveness on physical conditioning and planning involvement: a narrative review. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, no. 22. Art. 10465. DOI: 10.3390/app142210465.

74. Maciejczyk M., Palka T., Wiecek M., Szygula Z. Effects of concurrent heat and hypoxic training on cycling anaerobic capacity in men. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14, no. 1. Art. 22879. DOI: 10.1038/s41598-024-74686-w.

75. Mainwood G. W., Worsley–Brown P. The effect of extracellular pH and buffer concentration on the efflux of lactate from frog sartorius muscle. *The Journal of Physiology*. 1975. Vol. 250, no. 1. P. 1–22.

76. Malikov M., Tyshchenko V., Hlukhov I., Drobot K., Dubachinskiy O., Zubov V., Pasichnyk V. Enhancing the sports training of elite female athletes in academic rowing. *Journal of Physical Education and Sport*. 2024. Vol. 24, no. 3. P. 761–771.

77. Mazaheri R., Schmied C., Niederseer D., Guazzi M. Cardiopulmonary exercise test parameters in athletic population: a review. *Journal of Clinical Medicine*. 2021. Vol. 10, no. 21. Art. 5073. DOI: 10.3390/jcm10215073.

78. McEwen B. S., Akil H. Revisiting the concepts of allostasis and allostatic load. *Neurobiology of Stress*. 2021. Vol. 15. Art. 100410. DOI: 10.1016/j.ynstr.2021.100410.

79. Medina C. A., Lugo R. E. Acid–base balance: a review of normal physiology. *Journal of Clinical Medicine*. 2022. Vol. 11, no. 18. Art. 5230. DOI: 10.3390/jcm11185230.
80. Mishchenko V., Shynkaruk O., Suchanowski A. et al. Individualities of cardiorespiratory responsiveness to shifts in respiratory homeostasis and physical exercise in homogeneous groups of high performance athletes. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*. 2010. Vol. 2, no. 1. P. 13–29. DOI: 10.2478/v10131–010–0001–1.
81. Mishchenko V., Suchanowski A., Lysenko O. Changes related to fatigue in cardiorespiratory response sensitivity to hypoxic and hypercapnic stimulation during strenuous physical load. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*. 2009. Vol. 1. P. 27–32.
82. Miyamoto T., Sotobayashi D., Ito G., Kawai E., Nakahara H., Ueda S., Toyama T., Saku K., Nakanishi Y., Kinoshita H. Physiological role of anticipatory cardiorespiratory responses to exercise. *Physiological Reports*. 2022. Vol. 10, no. 5. Art. e15210. DOI: 10.14814/phy2.15210.
83. Monogarov V. D. *Fatigue in sports*. Kyiv : Zdorov'ia, 1986. 118 p.
84. Mu C., Soronovych I., Diachenko A., Khomiachenko O. et al. The characteristics of physical fitness related to athletic performance of male and female sport dancers. *Sport Mont*. 2021. No. 19, suppl. 2. P. 125–130. DOI: 10.26773/smj.210921.
85. Korman Sh.-A. S., Lukyantseva H. V. Specific features of the effect of dosed physical exercise on blood microcirculation parameters in young males depending on age and level of training // *Bulletin of Problems of Biology and Medicine*. 2025. Vol. 4 (179). P. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2025-4-179-18-26>
86. Nagorna V, Sencha-Hlevatska K, Fehr D, Bonmarin M, Korobeynikov G, Mytko A, Lorenzetti SR. Advancing Women's Performance in Fitness and Sports: An Exploratory Field Study on Hormonal Monitoring and Menstrual Cycle-

Tailored Training Strategies. *Sports*. 2026. Vol.14. No. 1. P. 7. (*Web of Science*).
<https://doi.org/10.3390/sports14010007>

87. Gløersen Ø., Colosio A. L., Boone J., Dysthe D. K., Malthe–Sørensen A., Capelli C., Pogliaghi S. Modeling $\dot{V}O_2$ on–kinetics based on intensity–dependent delayed adjustment and loss of efficiency (DALE). *Journal of Applied Physiology*. 2022. Vol. 132, no. 6. P. 1480–1488.

88. Ozkaya O., Balci G. A., As H., Yildiztepe E. A new technique to analyse threshold intensities based on time dependent change–points in the ratio of minute ventilation and end–tidal partial pressure of carbon–dioxide production. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 2021. Vol. 294. Art. 103735.

89. Patel S., Jose A., Mohiuddin S. S. Physiology, oxygen transport and carbon dioxide dissociation curve. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2023.

90. Périard J. D., Eijssvogels T. M. H., Daanen H. A. M. Exercise under heat stress: thermoregulation, hydration, performance implications, and mitigation strategies. *Physiological Reviews*. 2021. Vol. 101, no. 4. P. 1873–1979. DOI: 10.1152/physrev.00038.2020.

91. *Physiological Testing of the Elite Athlete* / Canadian Association of Sports Sciences, Sport Medicine Council of Canada ; ed. by J. D. MacDougall, H. A. Wenger, H. J. Green. Ottawa : Canadian Association of Sport Sciences in collaboration with the Sport Medicine Council of Canada, 1982. 181 p.

92. Poole D. C., Jones A. M. Oxygen uptake kinetics. *Comprehensive Physiology*. 2012. Vol. 2, no. 2. P. 933–996. DOI: 10.1002/cphy.c100072.

93. Portnichenko V., Ilyin V., Filippov M., Koval S. Status of regulatory processes in the bodies of middle–distance runners after training in mid–mountain conditions. *Theory and Methods of Physical Education and Sport*. 2025. Vol. 12, no. 1. P. 45–52.

94. Power K. E., Lockyer E. J., Botter A., Vieira T., Button D. C. Endurance–exercise training adaptations in spinal motoneurons: potential functional relevance to locomotor output and assessment in humans. *European*

Journal of Applied Physiology. 2022. Vol. 122, no. 6. P. 1367–1381. DOI: 10.1007/s00421-022-04918-2.

95. Powers K. A., Dhamoon A. S. Physiology, pulmonary ventilation and perfusion. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2023.

96. Pramkratok W., Songsupap T., Yimlamai T. Repeated sprint training under hypoxia improves aerobic performance and repeated sprint ability by enhancing muscle deoxygenation and markers of angiogenesis in rugby sevens. *European Journal of Applied Physiology*. 2022. Vol. 122, no. 3. P. 611–622. DOI: 10.1007/s00421-021-04861-8.

97. Rabinowitz J. D., Enerbäck S. Lactate: the ugly duckling of energy metabolism. *Nature Metabolism*. 2020. Vol. 2, no. 7. P. 566–571. DOI: 10.1038/s42255-020-0243-4.

98. Ranganathan P., Deo V., Pramesh C. S. Sample size calculation in clinical research. *Perspectives in Clinical Research*. 2024. Vol. 15, no. 3. P. 155–159. DOI: 10.4103/picr.picr_100_24.

99. Richardson R. S. Oxygen transport: air to muscle cell. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1998. Vol. 30, no. 1. P. 53–59.

100. Ruf L., Altmann S., Kloss C., Härtel S. Normative reference centiles for sprint performance in high-level youth soccer players. *Pediatric Exercise Science*. 2024. Vol. 36, no. 4. P. 192–200. DOI: 10.1123/pes.2023-0186.

101. Samaja M., Ottolenghi S. The oxygen cascade from atmosphere to mitochondria as a tool to understand the (mal)adaptation to hypoxia. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24, no. 4. Art. 3670. DOI: 10.3390/ijms24043670.

102. Sanghavi S. F., Swenson E. R. Arterial blood gases and acid–base regulation. *Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine*. 2023. Vol. 44, no. 5. P. 612–626. DOI: 10.1055/s-0043-1770341.

103. Santana J. L., Enzner T., Blunderfield B., Mendelson A. A., Villar R. Development of a standardized single-session cardiopulmonary exercise test for

combined assessment of peak oxygen uptake and on/off-kinetics. *Experimental Physiology*. 2025. Vol. 110. P. 1271–1282.

104. Santos P. D. G., Vaz J. R., Correia J., Neto T., Pezarat–Correia P. Long-term neurophysiological adaptations to strength training: a systematic review with cross-sectional studies. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2023. Vol. 37, no. 10. P. 2091–2105. DOI: 10.1519/JSC.0000000000004543.

105. Sapolsky R. M. Stress, resilience, and adaptation: a neurobiological perspective. *Annual Review of Physiology*. 2021. Vol. 83. P. 437–459. DOI: 10.1146/annurev-physiol-031221-123950.

106. Shaw I., Gregory K. Acid–base balance: a review of normal physiology. *BJA Education*. 2022. Vol. 22, no. 10. P. 396–401. DOI: 10.1016/j.bjae.2022.06.003.

107. Shi Y. et al. Hypoxia signaling in human health and diseases: mechanisms, crosstalks, and therapeutic implications. *Signal Transduction and Targeted Therapy*. 2022. Vol. 7. Art. 78.

108. Siggaard–Andersen O. *The acid–base status of the blood*. Copenhagen : Munksgaard, 1974.

109. Smith J. C., Hill D. W. Contribution of energy systems during a Wingate power test. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1991. Vol. 62, no. 5. P. 376–381. DOI: 10.1007/BF00626613.

110. Salnykova S., Furman Y., Miroshnichenko V., Boguslavskaya V., Gavrilova N., Brezdeniuk O., Holovkina V., Vypasniak I., Lutskyi V. Modeling of functional preparedness of women 25–35 years of different somatotypes. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*. 2022. Vol. 26. No. 2. P. 118–125. (Scopus, Q3) DOI: <https://doi.org/10.15561/26649837.2022.0206>

111. Stankevich L. G., Zemtsova I. I. et al. Efficiency of using a range of biologically active additives for middle–distance runners. *Journal of Physical Education and Sport*. 2020. Vol. 20, suppl. P. 344–352. DOI: 10.7752/jpes.2020.s1041.

112. Stanojevic S., Kaminsky D. A., Miller M. R., Thompson B., Aliverti A., Barjaktarevic I., Cooper B. G., Culver B., Derom E., Hall G. L., Hallstrand T. S., Leuppi J. D., MacIntyre N., McCormack M., Rosenfeld M., Swenson E. R. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *European Respiratory Journal*. 2022. Vol. 60, no. 1. Art. 2101499. DOI: 10.1183/13993003.01499–2021.
113. Stewart I. B., Pickering R. L. Effect of prolonged exercise on arterial oxygen saturation in athletes susceptible to exercise-induced hypoxemia. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2006. DOI: 10.1111/j.1600–0838.2006.00563.x.
114. Stewart P. A. *Modern quantitative acid–base chemistry*. New York : Elsevier, 1983.
115. Tanner R., Gore C. J. (eds.). *Physiological tests for elite athletes*. 2nd ed. Champaign, IL : Human Kinetics, 2012.
116. Thornton H. R., Delaney J. A., Duthie G. M., Dascombe B. J. Developing athlete monitoring systems in team sports: data analysis and visualization. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2019. Vol. 14, no. 6. P. 698–705. DOI: 10.1123/ijsp.2018–0169.
117. Tippairote T., Hoonkaew P., Suksawang A., Tippairote P. From adaptation to exhaustion: defining exposure-related malnutrition as a bioenergetic phenotype of aging. *Biogerontology*. 2025. Vol. 26, no. 5. Art. 161. DOI: 10.1007/s10522–025–10302–2.
118. Tomiak T., Lusenko O., Mishchenko V. Training-related modulations of the respiratory hypoxic and hypercapnic response sensitivity in young elite endurance athletes. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*. 2017. Vol. 9, no. 4. P. 7–21. DOI: 10.29359/BJHPA.09.4.01.
119. Valenzuela P. L. et al. Physiological determinants of post-exercise recovery in endurance sports. *Sports Medicine*. 2024. Vol. 54, no. 2. P. 247–266. DOI: 10.1007/s40279–023–01930–x.

120. Van Slyke D. D., Wu H., McLean F. C. Studies of gas and electrolyte equilibria in the blood: V. Factors controlling the electrolyte and water distribution in the blood. *Journal of Biological Chemistry*. 1923. Vol. 56, no. 3. P. 765–849.
121. Wang S. et al. Human color perception: the impact of color perception on fine-grained emotion prediction in movie and television videos. *Sensors*. 2024. Vol. 24, no. 23. Art. 7770. DOI: 10.3390/s24237770.
122. Wasserman K., Hansen J. E., Sue D. Y., Stringer W. W., Whipp B. J. *Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications*. 5th ed. Philadelphia, PA : Lippincott Williams & Wilkins, 2012.
123. Weakley J., Morrison M., García-Ramos A., Johnston R., James L., Cole M. H. The validity and reliability of commercially available resistance training monitoring devices: a systematic review. *Sports Medicine*. 2021. Vol. 51. P. 1–60. DOI: 10.1007/s40279-020-01382-w.
124. Weakley J., Black G., McLaren S., Scantlebury S., Suchomel T. J., McMahon E., Read D. B. Testing and profiling athletes: recommendations for test selection, implementation, and maximizing information. *Strength and Conditioning Journal*. 2024. Vol. 46, no. 2. P. 159–179. DOI: 10.1519/SSC.0000000000000784.
125. West J. B., Luks A. M. *West's respiratory physiology: the essentials*. 11th ed. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins, 2021.
126. West J. B. Human physiology at extreme altitudes on Mount Everest. *Science*. 1984. Vol. 223, no. 4638. P. 784–788. DOI: 10.1126/science.6364351.
127. Wolff C. B. Normal cardiac output, oxygen delivery and oxygen extraction. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2007. Vol. 599. P. 169–182. DOI: 10.1007/978-0-387-71764-7_23.
128. Wu D., Zhang K., Khan F. A., Pandupuspitasari N. S., Tang Y., Guan K., Sun F., Huang C. The emerging era of lactate: a rising star in cellular signaling and its regulatory mechanisms. *Journal of Cellular Biochemistry*. 2023. Vol. 124, no. 8. P. 1067–1081. DOI: 10.1002/jcb.30458.

129. Yu Y., Wang R., Li D., Lu Y. Monitoring physiological performance over 4 weeks moderate altitude training in elite Chinese cross-country skiers: an observational study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023. Vol. 20, no. 1. Art. 266. DOI: 10.3390/ijerph20010266.

130. Zhang J., Yao M., Xia S. et al. Systematic and comprehensive insights into HIF-1 stabilization under normoxic conditions: implications for cellular adaptation and therapeutic strategies in cancer. *Cell & Molecular Biology Letters*. 2025. Vol. 30. Art. 2. DOI: 10.1186/s11658-024-00682-7.

131. Zhu Y., Hou H., Li Y., Zhang Y., Fang Y., Chen S., Zhang L., Jin W., Zhou Y. Hyperoxia exposure induces ferroptosis and apoptosis by downregulating PLAGL2 and repressing HIF-1 α /VEGF signaling pathway in newborn alveolar type II epithelial cell. *Redox Report*. 2024. Vol. 29, no. 1. Art. 2387465. DOI: 10.1080/13510002.2024.2387465.

132. Антомонов М. Ю., Коробейніков Г. В., Хмельницька І. В., Харковлюк–Балакіна Н. В. *Математичні методи оброблення та моделювання результатів експериментальних досліджень : навч. посіб.* Київ : Олімпійська література, 2021. 216 с.

133. Бєленічев І. Ф., Гуніна Л. М., Розова К. В., Атаман Ю. О., Войтенко В. Л., Безугла В. В. Енергозабезпечення серця та скелетних м'язів за фізичних навантажень: мітохондріальний вектор. *Фізіологічний журнал*. 2022. Вип. 68 (5). С. 67–78. (Scopus, Q4). DOI: <https://doi.org/10.15407/fz68.05.067>
<https://fz.kiev.ua/index.php?abs=1936>

134. Виноградов В. Є. Спортивний масаж у сучасному спорті вищих досягнень. *Спортивна наука та здоров'я людини*. 2023. № 2(10). С. 29–47. DOI: 10.28925/2664-2069.2023.21.

135. Ващенко Н. М., Белікова М. В., Розова К. В. Вплив мелатоніну на мікроциркуляцію в умовах систематичних занять фітнесом. *Bulletin of problems in biology and medicine*. 2025. Вип. 3(178). С. 499–506. DOI: 10.29254/2977-4214-2025-3-178-499-506

136. Дяченко А., Шкретій Ю., Ченьцін Є. Ергометричні та фізіологічні характеристики спеціальної функціональної підготовленості спортсменів у видах спорту з проявом витривалості. *Слобожанський науково-спортивний вісник*. 2021. № 2(82). С. 11–16. DOI: 10.15391/sns.v.2021–2.002.

137. Дяченко А. Ю., Wang Q., Ніконов Д. М., Го Ж. Визначення енергетичного резерву веслувальників на каное на етапі підготовки до вищих досягнень. *Фізичне виховання та спорт*. 2023. № 4. С. 90–99.

138. Дяченко О. А. Моделювання гіпотетичних змін гемодинамічного еквіваленту під час фізичних навантажень. In: *Global trends in science and education : proceedings of the 7th International scientific and practical conference*. Kyiv, Ukraine, 2025. P. 25–28.

139. Дяченко О. А., Філіппов М. М. Динаміка кислотно-лужного стану крові при м'язовій діяльності та його вплив на масопереміщення респіраторних газів [Електронний ресурс]. In: *Здоров'я нації і вдосконалення фізкультурно-спортивної освіти : матеріали 5-ї Міжнар. наук.-практ. конф. до 140-річчя НТУ «ХП»*, 16–17 квіт. 2025 р. Харків : НТУ «ХП», 2025. С. 529–533.

140. Дяченко А.Ю, Го П., Довгодько Н., Кун С., Формування функціональної спрямованості підготовки веслярів високого класу до головних змагань // *Спортивна наука та здоров'я людини*. 2022. Вип. 2(8). С. 106–118. URL: <http://sporthealth.kubg.edu.ua/article/view/269270>

141. Дяченко О. А., Філіппов М. М., Шао Сін. Визначення типу реактивності кардіо-респіраторної системи за параметрами кінетики споживання кисню. *Актуальні питання фізичного виховання, спорту, здорового способу та якості життя різних верств населення*. Харків, 2026.

142. Дяченко О. А., Го Женхао. Фізіологічний моніторинг «стимул – реакція» спеціальної працездатності кваліфікованих спортсменів. In: *Молодь та олімпійський рух : зб. тез доп. XVI Міжнар. конф. молодих вчених*, 29 черв. 2023 р. Київ, 2023. С. 112–113.

143. Дяченко О. А., Філіппов М. М. Особливості функціональних проявів кардіо–респіраторної системи у формуванні об’ємної швидкості масопереносу кисню при м’язовій діяльності. In: *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації : зб. наук. праць*. Переяслав, 2026. Вип. 125. С. 5–9.
144. Дяченко А. Ю., Вей І. Сучасні концепції навантаження критичної потужності кваліфікованих спортсменів у циклічних видах спорту. *Sport Science Spectrum*. 2024. № 2. С. 74–81. DOI: 10.32782/spectrum/2024–2–10.
145. Дяченко О. А., Філіппов М. М. Теоретичний аналіз можливого впливу змін інтенсивності тканинного дихання на прояви гіпоксії навантаження. *Матеріали конференції з адаптаційних психофізіологічних проблем*. Київ : Національний університет фізичного виховання і спорту України, 2023.
146. Дяченко О. А., Філіппов М. М., Ільїн В. М., Го Ж. Моніторинг функціонального забезпечення спеціальної працездатності кваліфікованих спортсменів. *Вісник Черкаського університету. Серія «Біологічні науки»*. 2023. № 1. С. 35–45. DOI: 10.31651/2076–5835–2018–1–2023–1–35–45.
147. Дяченко О. А., Хмельницька Ю. К., Філіппов М. М. Зміни функціонального стану кардіореспіраторної системи і працездатності лижниць–гонщиць на різних етапах підготовчого періоду. *Acta Biologica Ukrainica*. 2023. № 1. DOI: 10.26661/2410–0943–2022–1–02.
148. Земцова І. І., Васьківська А. В., Вдовенко Н. В., Тронь Р. А. Особливості енергозабезпечення та фізична працездатність спортсменів–десятиборців. *Олімпікус*. 2025. Вип. 4. С. 51–57. DOI: <https://doi.org/10.24195/olympicus/2025-4.6>
149. Ільїн В. М., Філіппов М. М., Виноградов В. Є., Самсій Р. М. *Хронічна втома у спорті : монографія*. Київ : Кондор, 2025.
150. 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.

151. Корнюшов І. М., Розова К. В., Бакуновський О. М. Вплив різного рівня рухової активності на формування компенсаторно-приспосувальних реакцій у жінок на дозоване фізичне навантаження. *Фізіологічний журнал*. 2024. Т. 70. № 5. С. 4–5. (Scopus, Q4). DOI: <https://doi.org/10.15407/fz70.05S.001>.

152. Лук'янцева Г. В, Бакуновський О. М, Пастухова В. А., Дроздовська С. Б., Бабак С. В., Ільїн В. М., Малюга С. С. Вплив статодинамічних вправ на параметри серцево-судинної системи при заняттях силовим фітнесом. *Вісник Черкаського університету*. 2024. № 2. С. 59–68. DOI: 10.31651/2076-5835-2018-1-2024-2-59-68.

153. Філіппов М. М., Дяченко А. Ю., Дяченко О. А., Самсій Р. М., Комолафе Д. О., Ільїн В. М., Хмельницька Ю. К. *Методичні вказівки до самостійної роботи аспірантів: методологія визначення функціональних можливостей та енергетичних характеристик організму спортсменів на основі аналізу режимів масопереносу респіраторних газів і їх впливу на кислотно-лужний стан крові*. Київ : НУФВСУ, 2024. 42 с.

154. Майстренко С., Русанова О. Прогностичні критерії ефективного подолання змагальних дистанцій 2000 м та 6000 м на ергометрі Concept2 спортсменами у веслуванні академічному. *Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 15*. 2024. № 9(182). С. 165–170. DOI: 10.31392/UDU-nc.series15.2024.9(182).29.

155. *Методичні вказівки до самостійної роботи здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 091 Біологія, спеціалізації «Фізіологія рухової активності» з дисципліни «Адаптація дихальної і серцево-судинної систем в умовах рухової активності»* / упоряд. М. М. Філіппов, Ю. К. Хмельницька. Київ : НУФВСУ, 2021. 17 с.

156. Сиротинин Н. Н. Деякі підсумки вивчення порівняльної фізіології. *Фізіологічний журнал АН УРСР*. 1957. Т. 3, № 5.

157. Філіппов М. М., Дяченко О. А., Самсій Р. М., Пастухова В. А., Дяченко А. Ю., Ільїн В. М. Моделювання впливу можливих змін в системі

кардіогемодинаміки на процеси регулювання масопереносу кисню в організмі спортсменів при фізичних навантаженнях [подано до публікації]

158. Філіппов М. М., Дяченко А. Ю., Дяченко О. А., Самсій Р. М., Комолафе Д. О., Ільїн В. М. Методологія комплексного підходу до визначення функціональних можливостей організму спортсменів шляхом аналізу режимів масопереносу респіраторних газів та енергетичних характеристик. *Вісник проблем біології і медицини*. 2024. № 2(173). С. 323–338. DOI: 10.29254/2077–4214–2024–2–173–323–338.

159. Філіппов М. М., Дяченко О. А. Характеристика змін кислотно–лужного стану крові при м'язовій діяльності та їх вплив на динаміку респіраторних газів. *Природничий альманах (біологічні науки)*. 2025. № 38. С. 85–95. DOI: 10.32999/ksu2524–0838/2025–38–6.

160. Фурман Ю., Дуло О., Гема-Багіна Н., Горват П., Кутек Т. Особливості показників аеробної та анаеробної продуктивності залежно від компонентів маси тіла у юнаків із гірських районів Закарпаття. *Wiadomości Lekarskie*. 2023. Vol. 76. No. 11. P. 2389–2394. (Scopus, Q4) <https://doi.org/10.15561/26649837.2022.0206>

161. Фурман Ю., Брезденюк О., Мірошніченко В. Стандарти оцінки функціональної підготовленості осіб різного віку. In: *Особливості викладання дисципліни «Фізичне виховання» у ЗВО в сучасних умовах : матеріали круглого столу*, 21 січ. 2021 р. Вінниця, 2021. Вип. 3. С. 30–31.

162. Фурман Ю. М., Брезденюк О. Ю., Мірошніченко В. М. Вплив елементів аквафітнесу й інтервального гіпоксичного тренування на динаміку відновлення функції серцево–судинної системи плавчинь. *Фізичне виховання, спорт і культура здоров'я у сучасному суспільстві*. 2021. № 3. С. 117–122.

163. Хмельницька Ю., Станкевич Л., Земцова І., Трон Р., Краснова С., Ефанова В., Смирнова З., Хуртик Д. Фізіологічні та метаболічні ефекти використання інтервальних тренувальних навантажень у спортсменів, які спеціалізуються на спортивній ходьбі, у різні періоди підготовки.. *Health*,

sport, rehabilitation. 2024. Vol. 10. No. 1. P. 39–51. (Scopus, Q2). DOI: <https://doi.org/10.58962/HSR.2024.10.1.39-51>.

164. Хмельницька, Ю., Станкевич, Л., Земцова, І., Вдовенко, Н., Краснова, С., & Тронь, Р. Участь антиоксидантної системи в процесі адаптації організму спортсменів при напруженій м'язовій діяльності. *Спортивна наука та здоров'я людини*. 2023. № 1(9). С. 126–138. DOI: <https://doi.org/10.28925/2664-2069.2023.19>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Дяченко О. А., Філіппов М. М., Ільїн В. М., Го Ж. Моніторинг функціонального забезпечення спеціальної працездатності кваліфікованих спортсменів. *Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки*. 2023. № 1. С. 35–45. DOI: <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2023-1-35-45> Фахове видання України. *Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, обробці, аналізі результатів і формулюванні висновків. Внесок Філіппова М. М. полягав в організації та проведенні досліджень, узагальненні висновків. Внесок Ільїна В. М. — в обробці та інтерпретації результатів дослідження. Внесок Го Ж. — в організації та проведенні досліджень.*
2. Дяченко О. А., Хмельницька Ю. К., Філіппов М. М. Зміни функціонального стану кардіореспіраторної системи і працездатності лижниць-гонщиць на різних етапах підготовчого періоду. *Acta Biologica Ukrainica*. 2023. № 1. С. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.26661/2410-0943-2023-1-02> Фахове видання України. *Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів. Внесок Хмельницької Ю. К. полягав в організації та проведенні досліджень, узагальненні висновків. Внесок Філіппова М. М. — в обробці та інтерпретації результатів дослідження.*
3. Diachenko O., Komolafe D., Filippov M., Ilyin V., Guo Z. Characteristics of functional support for specialized physical performance in rowers. *Bulletin of Problems of Biology and Medicine*. 2023. Vol. 4(171). P. 99–107. DOI: <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2023-4-171-99-107> Фахове видання України. *Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів. Внесок Комолафе Д. та Го Женхао полягав в організації та проведенні досліджень. Внесок Філіппова М.*

— в обробці та інтерпретації результатів дослідження. Внесок Ільїна В. М.
— в узагальненні висновків.

4. Filippov M. M., Diachenko A. Yu., Diachenko O. A., Samsiy R. M., Komolafe D. O., Ilyin V. M. Methodology of a complex approach to determining the functional capabilities of the athletes' body by analyzing the modes of gas transfer regimes and energy characteristics. *Bulletin of Problems of Biology and Medicine*. 2024. Vol. 2(173). P. 323–338. DOI: <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-2-173-323-338> Фахове видання України. Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів. Внесок Філіппова М. М. — в обробці та інтерпретації результатів дослідження. Внесок Дяченка А. Ю. полягав в організації та проведенні досліджень. Внесок Самсія Р. М. — в обробці та інтерпретації отриманих даних. Внесок Комолафе Д. О. — в організації та проведенні дослідження. Внесок Ільїна В. М. — в узагальненні висновків.

5. Філіппов М. М., Дяченко О. А. Характеристика змін кислотно-лужного стану крові при м'язовій діяльності та їх вплив на динаміку респіраторних газів. *Природничий альманах (Біологічні науки)*. 2025. № 38. С. 85–95. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2524-0838/2025-38-6> Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів. Внесок Філіппова М. М. — в обробці та інтерпретації результатів дослідження, узагальненні висновків.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Дяченко О. А., Філіппов М. М. Теоретичний аналіз можливого впливу змін інтенсивності тканинного дихання на прояви гіпоксії навантаження. *Адаптаційні та психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту* : матеріали І Міжнар. наук.-практич. конф., 7-8 груд. 2023 р., Київ – Черкаси. Київ. 2023. С. 37–38. URL: <https://reposit.uni-sport.edu.ua/server/api/core/bitstreams/8206b367-2800-4706-a9e2-6ca17e9ab998/content> Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів.

7. Дяченко О. А., Го Женхао. Фізіологічний моніторинг «стимул – реакція» спеціальної працездатності кваліфікованих спортсменів. *Молодь та олімпійський рух* : зб. тез доп. XVI Міжнар. конф. молодих вчених. 29 черв. 2023 р. Київ, Київ, 2023. С. 112–113. URL: <https://reposit.unisport.edu.ua/server/api/core/bitstreams/f26adc98-470b-4db1-99b8-0fc5048296fd/content> *Особистий внесок здобувача полягав в обробці та інтерпретації результатів дослідження, узагальненні висновків.*
8. Дяченко О. А., Філіппов М. М. Динаміка кислотно-лужного стану крові при м'язовій діяльності та його вплив на масоперенесення респіраторних газів. *Здоров'я нації і вдосконалення фізкультурно-спортивної освіти* : матеріали V Міжнар. наук.-практич. конф. 16–17 квіт. 2025 р. Харків, Харків : НТУ «ХП». 2025. С. 529–533. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/903865> *Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів.*
9. Дяченко О. А. Моделювання гіпотетичних змін гемодинамічного еквіваленту під час фізичних навантажень. *Global Trends in Science and Education* : Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference. 28-30 July 2025, Kyiv. Kyiv, 2025. P. 25–28. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2025/07/GLOBAL-TRENDS-IN-SCIENCE-AND-EDUCATION-28-30.07.25.pdf>
10. Дяченко О. А., Філіппов М. М. Особливості функціональних проявів кардіореспіраторної системи у формуванні об'ємної швидкості масопереносу кисню при м'язовій діяльності. *Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації* : матеріали Міжнар. наук.-практич. інтернет-конф. 30 січ. 2026 р., Переяслав, Переяслав, 2026. Вип. 125. С. 5–9. URL: <https://0a30397da1.clvaw-cdnwnd.com/12ac69b5c0bec343f11779551473023e/200000621-0a63b0a63e/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B>

[A%20125–7.pdf](#) *Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів.*

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

11. Філіппов М. М., Дяченко А. Ю., Дяченко О. А., Самсій Р. М., Комолафе Д. О., Ільїн В. М., Хмельницька Ю. К. Методологія визначення функціональних можливостей та енергетичних характеристик організму спортсменів на основі аналізу режимів масопереносу респіраторних газів: методичні вказівки для аспірантів. Київ: НУФВСУ, 2024. 42 с. URL: <https://reposit.uni-sport.edu.ua/handle/787878787/5549> *Особистий внесок здобувача полягав в організації та проведенні досліджень, опрацюванні й аналізі отриманих результатів.*

ДОДАТОК Б

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

№	Назва конференції, конгресу, семінару	Місце та дата проведення	Форма участі
1	Адаптаційні та психофізіологічні проблеми фізичної культури і спорту	Київ–Черкаси, 2023 (Онлайн)	Заочна
2	Молодь та олімпійський рух	Київ, 2023	Заочна
3	Здоров'я нації і вдосконалення фізкультурно–спортивної освіти	Харків, 2025	Заочна
4	Global Trends in Science and Education : Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference	Київ, 2025	Заочна
5	Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації	Переяслав, 2026	Заочна

ДОДАТОК В

Акт
впровадження результатів наукових досліджень в освітній процес
Інституту післядипломної освіти та професійного удосконалення Національного
університету фізичного виховання і спорту України
 Київ 15 грудня 2025 р.

Ми, ті, що підписалися нижче, представник НУФВСУ, проректор з навчально-методичної роботи, проф., д. н. фіз. вих. О.А. Шинкарук та заступник директора з післядипломної освіти та підвищення кваліфікації Інституту післядипломної освіти та професійного удосконалення В.В. Томашевський, склали цей акт про те, що за результатами роботи, виконаної відповідно до плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021-2025 рр., згідно з темою кафедри медичної біології та спортивної дієтології «Вплив ендогенних та екзогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (державний реєстраційний номер 012U108187) виконавець теми Ольга Дяченко, протягом 2025 р. внесла такі рекомендації та пропозиції:

Назва пропозиції, форма впровадження і коротка характеристика	Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання	Ефект від впровадження
Назва пропозиції: матеріали дослідження «Моніторинг функціонального стану та резервних можливостей організму спортсменів» Форма впровадження: Лекційний матеріал «Витривалість і методи її розвитку в спорті» (курси підвищення кваліфікації тренерів). Характеристика: Сучасні технології моніторингу фізіологічних і функціональних станів, які супроводжують напружену змагальну діяльність спортсменів в різних видах спорту. Переваги над аналогами: Аналогів в світовій практиці немає	Запропоновано методику моніторингу кардіореспіраторної системи, киснево зв'язувальних властивостей крові, режимів масопереносу кисню, функціональних характеристик КРС та кислотно-лужного стану в певних діапазонах інтенсивності, що дозволяють на якісному рівні оцінити функціональний потенціал спортсменів, підібрати індивідуальні режими тренувальних навантажень, спрямованих на розвиток витривалості спортсменів. Методика може бути рекомендована для впровадження в систему підготовки спортсменів циклічних видах спорту. Результати досліджень можуть використовуватися при викладанні дисциплін з теорії і методики підготовки спортсменів.	Матеріали досліджень було використано при викладанні лекцій протягом 2025 р. р. для тренерів з різних видів спорту Інституту післядипломної освіти та професійного удосконалення. Впровадження результатів досліджень в лекційний матеріал сприяло розширенню кола знань тренерів, підвищенню якості планування засобів функціональної підготовки спортсменів в циклічних видах спорту, що мало економічний та соціальний ефект. Накопичені знання сприяли раціональній побудові тренувального процесу. Збережено час на досягнення певного рівня готовності до змагань.

Автор, розробник: аспірант кафедри медичної біології та спортивної дієтології НУФВСУ, виконавець теми

Ольга ДЯЧЕНКО

Представник НУФВСУ
Проректор з навчально-методичної роботи,
проф., д. н. фіз. вих.

Оксана ШИНКАРУК

Представник установи, де виконувалось впровадження:
заступник директора з післядипломної освіти та
підвищення кваліфікації Інституту післядипломної
освіти та професійного удосконалення, доцент, к. фіз. вих

Володимир ТОМАШЕВСЬКИЙ

ДОДАТОК Г

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Акт

впровадження результатів наукових досліджень у освітній процес
кафедри медичної біології та спортивної дієтології

Національного університету фізичного виховання і спорту України

12 грудня 2025 р.

м. Київ

Ми, ті, що підписалися нижче, представник НУФВСУ, проректор з навчально-методичної роботи Оксана ШИНКАРУК та завідувач кафедри медичної біології та спортивної дієтології Вікторія ПАСТУХОВА, склали цей акт про те, що за результатами роботи, виконаної відповідно до плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021-2025 рр., згідно з темою кафедри медичної біології та спортивної дієтології «Вплив ендогенних та екзогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (державний реєстраційний номер 012U108187) виконавець теми Ольга Дяченко, протягом 2025 р. внесла такі рекомендації та пропозиції:

Назва пропозиції, форма впровадження і коротка характеристика	Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання	Ефект від впровадження
Назва пропозиції: матеріали дослідження «Моніторинг функціонального стану та резервних можливостей організму спортсменів» Форма впровадження: Лекційний матеріал навчальної дисципліни «Адаптація серцево-судинної системи» другого (магістерського) рівня вищої освіти. Характеристика: Сучасні технології моніторингу фізіологічних і функціональних станів, які супроводжують напружену змагальну діяльність в циклічних видах спорту. Переваги над аналогами: Аналогів в світовій практиці немає	Запропоновано методику моніторингу кардіореспіраторної системи, киснево зв'язувальних властивостей крові, режимів масопереносу кисню, функціональних характеристик КРС та кислотно-лужного стану в певних діапазонах інтенсивності. Моніторинг дозволяє оцінити ступінь функціональної підтримки і умови оптимізації реактивних властивостей КРС відповідно вимог функціонального забезпечення змагальної діяльності в циклічних видах спорту з проявами витривалості. Методика може бути рекомендована для впровадження в систему підготовки спортсменів. Результати досліджень можуть використовуватися при викладанні дисциплін з теорії і методики підготовки спортсменів.	Матеріали досліджень було використано при викладанні лекцій протягом 2025 р. р. для студентів магістрантів. Впровадження результатів досліджень в лекційний матеріал сприяло розширенню кола знань студентів, їх орієнтації в сучасних трендах розвитку спорту. Отримані знання сприяли якісній підготовці спеціалістів, що вплинуло на раціональну побудову тренувального процесу і досягненню готовності до головних змагань.

Автор, розробник: аспірант кафедри медичної біології та спортивної дієтології НУФВСУ, виконавець теми

Ольга ДЯЧЕНКО

Представник НУФВСУ

Проректор з навчально-методичної роботи,
проф., д. н. фіз. вих.

Оксана ШИНКАРУК

Завідувач кафедри медичної біології та спортивної дієтології НУФВСУ,
проф., д. мед. наук

Вікторія ПАСТУХОВА

ДОДАТОК Д

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Акт

впровадження результатів наукових досліджень у освітній процес
кафедри хореографії і танцювальних видів спорту

Національного університету фізичного виховання і спорту України

22 грудня 2025 р.

м. Київ

Ми, ті, що підписалися нижче, представник НУФВСУ, проректор з навчально-методичної роботи Оксана ШИНКАРУК та завідувач кафедри хореографії і танцювальних видів спорту Ігор СОРОНОВИЧ, склали цей акт про те, що за результатами роботи, виконаної відповідно до плану науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021-2025 рр., згідно з темою кафедри медичної біології та спортивної дієтології «Вплив ендогенних та екзогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (державний реєстраційний номер 012U108187) виконавець теми Ольга Дяченко, протягом 2025 р. внесла такі рекомендації та пропозиції:

Назва пропозиції, форма впровадження і коротка характеристика	Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання	Ефект від впровадження
Назва пропозиції: матеріали дослідження «Моніторинг функціонального стану та резервних можливостей організму спортсменів» Форма впровадження: Лекційний матеріал навчальної дисципліни «Теорія та методика функціональної підготовки у спорті вищих досягнень» відповідно до освітньо-наукової програми «Хореографія і танцювальні види спорту» для другого (магістерського) рівня вищої освіти. Характеристика: Сучасні технології моніторингу фізіологічних і функціональних станів, які супроводжують напружену змагальну діяльність в спортивному танці. Переваги над аналогами: Аналогів в світовій практиці немає	Запропоновано методику моніторингу кардіореспіраторної системи, киснево зв'язувальних властивостей крові, режимів масопереносу кисню, функціональних характеристик КРС та кислотно-лужного стану в певних діапазонах інтенсивності. Моніторинг дозволяє оцінити ступінь функціональної підтримки і умови оптимізації реактивних властивостей кардіореспіраторної системи відповідно вимог функціонального забезпечення змагальної діяльності в стандартній і латиноамериканській програмі. Методика може бути рекомендована для впровадження в систему підготовки спортсменів-танцюристів. Результати досліджень можуть використовуватися при викладанні дисциплін з теорії і методики підготовки спортсменів.	Матеріали досліджень було використано при викладанні лекцій протягом 2025 р. р. для студентів магістрантів. Впровадження результатів досліджень в лекційний матеріал сприяло розширенню кола знань студентів, їх орієнтації в сучасних трендах розвитку спорту. Отримані знання сприяли якісній підготовці спеціалістів, що вплинуло на раціональну побудову тренувального процесу і досягненню готовності до турнірів.

Автор, розробник: аспірант кафедри медичної біології та спортивної дієтології НУФВСУ, виконавець теми

Ольга ДЯЧЕНКО

Представник НУФВСУ
Проректор з навчально-методичної роботи,
проф., д. н. фіз. вих.

Оксана ШИНКАРУК

Завідувач кафедри хореографії і танцювальних видів спорту НУФВСУ,
доц., канд. наук фіз. вих.

Ігор СОРОНОВИЧ



ДОДАТОК Е

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

**Акт впровадження
результатів досліджень в практику моніторингу тренувального процесу юних
кваліфікованих спортсменів Китаю**

м. Наньчан, КНР

8 грудня 2024 р.

Ми, що нижче підписалися, представники Лабораторії моніторингу підготовки спортсменів у водних видів спорту генеральної адміністрації спорту Китаю, представники Національного університету фізичного виховання і спорту України, склали цей акт про те, що за результатами роботи, виконаної відповідно до плану науково-дослідної роботи НУФВСУ на 2021-2025 рр., згідно з темою кафедри медичної біології та спортивної дієтології «Вплив ендогенних та екзогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (державний реєстраційний номер 012U108187) виконавець теми Ольга Дяченко, протягом 2025 р. внесла такі рекомендації та пропозиції:

Найменування пропозиції, форма впровадження і коротка характеристики	Наукова новизна та її значення, рекомендації з подальшого використання	Ефект впровадження
<i>Назва пропозиції:</i> «Моніторинг функціонального стану та резервних можливостей організму спортсменів» <i>Форма впровадження:</i> Контроль функціональних можливостей спортсменів. <i>Характеристика:</i> Методика дозволяє оцінити фізіологічні і функціональні стани спортсменів під впливом навантаження максимальної інтенсивності; в умовах аеробно-анаеробного переходу, максимального споживання кисню і навантаження «критичної» потужності. <i>Аналоги:</i> у світовій практиці немає.	<i>Наукова новизна:</i> Вперше розроблено формалізовану оцінку функціональних резервів на основі комплексної оцінки фізіологічних і функціональних станів спортсменів. <i>Рекомендації:</i> Методика дозволяє визначати шляхи індивідуалізації підготовки спортсменів на основі оцінки типологічних особливостей реакції кардіореспіраторної системи та механізмів енергозабезпечення.	Методику впроваджено в роботу Лабораторії моніторингу підготовки спортсменів у водних видів спорту генеральної адміністрації спорту Китаю, що підвищило інформативність контролю і можливості його реалізації як компонента управління тренувальним процесом. Ефективність застосування методики підтверджено завоюванням медалей на Всекитайських іграх 2025 р. у складі команд провінцій Дзяньші, Сичуань.

Керівник Лабораторії моніторингу підготовки спортсменів у водних видів спорту генеральної адміністрації спорту Китаю

Провідний спеціаліст Лабораторії моніторингу підготовки спортсменів у водних видів спорту генеральної адміністрації спорту Китаю

Виконавець, аспірантка кафедри медичної біології та спортивної дієтології НУФВСУ

Проректор з науково-педагогічної роботи НУФВСУ
професор, доктор фіз. вих.



Ольга БОРИСОВА

ДОДАТОК Ж

СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ПОКАЗНИКІВ МОНІТОРИНГУ

Результати статистичного опрацювання значень показників моніторингу (n=11) за усіма блоками моніторингу подано в таблицях 1–11.

Фізіологічні параметри

Таблиця Ж1 – Статистична обробка значень показників газообміну під час модуляції навантаження / різних режимах навантаження

		$\dot{V}O_2 - \dot{V}O_2 / \text{кг}$		$\dot{V}CO_2$	RQ
		л/хв	мл/кг/хв	л/хв	у.о.
Test 30 _{LOAD}	$\bar{X}$	0,9	10,8	0,9	1,0
	SD	0,2	1,9	0,2	0,2
	min	0,7	7,6	0,7	0,8
	Q1	0,8	9,6	0,7	0,9
	ME	0,9	10,7	0,8	0,9
	Q3	1,0	12,1	1,0	1,0
	max	1,2	14,2	1,5	1,7
Відновлення	$\bar{X}$	3,8	45,7	3,7	1,0
	SD	1,0	13,1	1,0	0,2
	min	0,9	10,6	1,4	0,7
	Q1	3,7	42,4	3,7	0,9
	ME	4,0	48,8	4,0	1,0
	Q3	4,4	53,2	4,3	1,1
	max	4,6	59,1	4,6	1,6
65% $\dot{V}O_2 \text{ max}$	$\bar{X}$	3,7	43,7	2,2	0,61
	SD	0,2	4,1	0,2	0,04
	min	3,2	37,9	2,0	0,5
	Q1	3,6	40,4	2,1	0,6
	ME	3,7	43,7	2,3	0,6
	Q3	3,8	46,6	2,4	0,7
	max	4,0	50,8	2,5	0,7
85% $\dot{V}O_2 \text{ max}$	$\bar{X}$	4,7	55,9	3,9	0,8
	SD	0,3	5,6	0,6	0,1
	min	4,2	46,5	2,9	0,7
	Q1	4,6	52,6	3,6	0,8
	ME	4,7	55,5	3,9	0,8
	Q3	4,7	59,0	4,1	0,9
	max	5,3	64,6	5,0	1,0

Продовження таблиці 31

$\dot{V}O_2 \max$	$\bar{X}$	5,5	65,9	6,1	1,1
	SD	0,4	5,8	0,5	0,0
	min	4,9	56,3	5,3	1,0
	Q1	5,3	62,2	5,7	1,1
	ME	5,5	65,9	6,2	1,1
	Q3	5,6	69,9	6,3	1,1
	max	6,2	75,2	6,8	1,2
CP $\dot{V}O_2$	$\bar{X}$	5,5	65,3	5,7	1,1
	SD	0,4	6,4	0,5	0,1
	min	4,8	55,2	4,8	0,9
	Q1	5,2	61,0	5,7	1,0
	ME	5,4	65,5	5,8	1,1
	Q3	5,7	68,9	6,1	1,1
	max	6,4	77,7	6,3	1,2

Таблиця Ж2 – Статистична обробка значень показників вентиляції та дифузії та серцево–судинної системи

		$\dot{V}_E$	$\dot{V}_A$	$\frac{V_A}{V_E}$	f	V_T	D_LCO_2	HR	SV	$\dot{Q}$
		л/хв		%	д.ц./х в	л	мл/м м рт.ст	скор./х в	мл/скор .	л/х в
Test 30	$\bar{X}$	30,5	16,5	54,1	17,3	1,7	61,4	95,2	60,8	5,7
	SD	8,5	4,4	1,7	2,6	0,2	1,2	14,8	13,1	1,0
	min	21,8	11,4	52,0	14,0	1,5	39,5	66,0	42,1	4,4
	Q1	24,6	13,3	53,0	15,5	1,6	62,4	89,4	52,8	4,8
	ME	30,3	17,0	54,0	17,0	1,7	72,5	95,5	60,4	5,7
	Q3	33,4	18,0	55,5	18,5	1,9	102,5	104,9	67,0	6,6
	max	51,3	26,7	57,0	23,0	2,2	251,8	115,3	88,2	7,1
Test 30Rec	$\bar{X}$	117,8	88,5	75,1	39,3	3,03	307,2	136,3	205,0	27,8
	SD	21,6	17,1	2,0	5,4	0,6	1,6	15,2	56,6	7,2
	min	72,6	54,5	72,0	33,0	2,0	14,5	114,0	61,1	7,7
	Q1	107,6	79,7	74,0	35,5	2,6	272,1	124,3	180,8	27,5
	ME	114,0	85,5	75,0	37,0	3,0	222,3	133,3	218,7	29,1

	Q3	133,0	102,4	75,5	42,0	3,4	787,4	148,1	244,8	32,1
	max	150,0	114,0	79,0	51,0	3,9	1045,1	159,1	266,3	33,8
65% $\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	82,0	61,6	75,1	21,2	3,9	566,6	137,4	224,2	30,8
	SD	10,9	8,7	2,3	4,3	0,5	1,6	10,5	12,9	2,7
	min	65,0	48,1	72,0	15,0	3,2	198,6	122,5	204,7	27,7
	Q1	73,4	54,4	74,0	17,5	3,6	255,2	130,6	215,2	29,0
	ME	85,8	64,4	74,0	20,0	3,8	507,1	135,5	226,3	30,3
	Q3	88,3	68,3	76,0	25,0	4,1	918,5	142,7	233,4	31,2
	max	97,6	72,8	80,0	27,0	5,2	2189,4	160,0	242,8	37,2
85% $\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	122,0	97,9	80,2	30,5	4,0	124,7	163,4	233,4	38,1
	SD	15,0	13,5	2,8	4,5	0,4	1,4	11,6	28,1	4,8
	min	94,5	78,4	75,0	24,0	3,5	102,4	145,0	203,0	30,9
	Q1	109,4	87,3	79,0	27,5	3,8	110,7	156,2	216,0	34,6
	ME	125,0	97,2	80,0	30,0	3,9	153,8	163,8	224,8	36,9
	Q3	131,5	105,8	82,0	34,0	4,3	173,4	169,7	239,7	41,5
	max	144,4	121,3	84,0	37,0	5,0	548,5	188,2	288,3	46,3
$\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	182,3	163,7	89,8	48,7	3,8	82,8	185,0	213,7	39,5
	SD	14,3	13,6	3,0	7,8	0,7	10,9	9,0	24,1	4,4
	min	158,0	137,5	86,0	37,0	3,2	70,2	167,0	193,1	34,7
	Q1	179,5	161,7	88,0	43,5	3,4	72,6	181,2	199,0	36,2
	ME	182,5	162,5	89,0	49,0	3,6	82,5	185,6	207,0	38,4
	Q3	192,0	170,9	91,0	54,5	4,0	90,9	190,7	214,1	41,1
	max	205,3	186,8	97,0	60,0	5,3	104,6	197,4	271,9	48,5
CP $\dot{V}O_2$	$\bar{X}$	201,2	176,5	87,9	53,3	3,8	75,6	185,1	216,4	40,0
	SD	21,1	16,4	4,0	6,2	0,4	8,5	9,3	27,8	4,6
	min	183,2	163,4	81,0	44,0	3,2	66,1	170,0	186,9	35,1

Q1	190,8	166,0	85,5	49,0	3,5	67,9	179,2	204,8	36,2
ME	192,1	171,4	88,0	52,0	3,9	74,5	189,0	207,8	39,2
Q3	206,9	183,1	89,5	59,0	4,1	79,4	191,6	221,1	42,2
max	258,3	219,6	97,0	62,0	4,2	89,8	197,0	289,7	49,3

**Таблиця ЖЗ – Статистична обробка значень параметрів
кисневозв'язувальних властивостей крові**

		Hb	C _a O ₂	C _(a-v) O ₂	C _v O ₂	S _a O ₂	S _v O ₂
		г.%	об.%				
Test 30	$\bar{X}$	15,6	19,7	12,4	7,3	96	22
	SD	1,1	1,4	1,5	0,8	1	3
	min	14,0	17,9	10,0	6,4	95,0	19,0
	Q1	14,7	18,3	11,5	6,7	96,0	20,0
	ME	15,9	20,3	12,2	7,0	96,0	21,0
	Q3	16,6	20,6	13,4	8,2	96,5	22,0
	max	17,2	22,0	15,2	8,3	97,0	30,0
Test 30Rec	$\bar{X}$		17,7	14,1	3,6	96	33
	SD		1,5	1,2	0,4	1	3
	min		15,5	12,4	3,1	94,0	27,0
	Q1		16,6	13,0	3,3	96,0	31,5
	ME		17,6	13,7	3,8	96,0	32,0
	Q3		18,9	15,1	3,9	97,0	34,5
	max		19,6	15,8	4,0	97,0	37,0
65% $\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$		17,2	13,7	3,5	96	40
	SD		1,3	0,9	0,5	1	2
	min		15,2	12,4	2,8	95,0	37,0
	Q1		16,0	13,0	3,2	95,0	38,5
	ME		17,6	14,0	3,4	95,0	40,0
	Q3		18,1	14,5	3,9	96,0	41,5
	max		18,9	14,9	4,1	97,0	44,0
85% $\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$		19,7	12,4	7,3	93	35
	SD		1,4	1,5	0,8	2	4
	min		17,9	10,0	6,4	90,0	30,0
	Q1		18,3	11,5	6,7	91,5	32,5
	ME		20,3	12,2	7,0	93,0	34,0
	Q3		20,6	13,4	8,2	94,0	37,0
	max		22,0	15,2	8,3	96,0	41,0
$\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$		17,7	14,1	3,6	83	20
	SD		1,5	1,2	0,4	3	1
	min		15,5	12,4	3,1	80,0	18,0
	Q1		16,6	13,0	3,3	82,0	19,0
	ME		17,6	13,7	3,8	83,0	20,0
	Q3		18,9	15,1	3,9	84,0	21,0
	max		19,6	15,8	4,0	91,0	23,0
CP $\dot{V}O_2$	$\bar{X}$		17,2	13,7	3,5	81	20
	SD		1,3	0,9	0,5	3	2
	min		15,2	12,4	2,8	78,0	18,0
	Q1		16,0	13,0	3,2	80,0	18,5
	ME		17,6	14,0	3,4	81,0	19,0
	Q3		18,1	14,5	3,9	82,0	21,0
	max		18,9	14,9	4,1	88,0	22,0

Режими масопереносу кисню

Таблиця Ж4 – Об’ємна швидкість транспортування та споживання O₂

		qIO ₂	qAO ₂	qaO ₂	qtO ₂	qvO ₂	PAO ₂	PaO ₂	PvO ₂
		л/хв					мм рт ст		
Test 30	$\bar{X}$	6,4	3,5	1,2	0,9	0,3	100,9	89,1	16,7
	SD	1,8	0,9	0,2	0,2	0,1	9,2	6,3	1,1
	min	4,6	2,4	0,9	0,7	0,2	88,8	80,3	15,8
	Q1	5,2	2,8	1,0	0,8	0,2	94,3	87,6	16,2
	ME	6,4	3,6	1,3	0,9	0,3	101,4	87,6	16,5
	Q3	7,0	3,8	1,3	1,0	0,3	104,3	92,7	16,9
	max	10,8	5,6	1,5	1,2	0,4	120,6	97,8	19,7
Test 30Rec	$\bar{X}$	24,7	18,6	5,7	3,8	1,9	111,7	92,8	21,4
	SD	4,5	3,6	1,5	1,0	0,6	11,9	8,0	1,1
	min	15,2	11,4	1,4	0,9	0,5	94,3	77,6	19,4
	Q1	22,6	14,6	2,8	1,8	1,0	105,7	83,5	20,3
	ME	23,9	18,0	6,1	4,0	2,0	111,2	90,9	21,2
	Q3	27,9	20,8	5,7	3,7	2,1	128,5	95,5	22,1
	max	31,5	23,9	7,1	4,6	2,6	139,9	101,5	23,0
65% $\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	17,2	12,9	6,2	3,7	2,6	97,8	88,7	24,1
	SD	2,3	1,8	0,5	0,2	0,3	5,8	7,2	0,8
	min	13,7	10,1	5,4	3,2	2,2	90,4	83,3	23,0
	Q1	15,4	11,4	5,9	3,6	2,4	92,9	83,3	23,5
	ME	18,0	13,5	6,4	3,7	2,6	97,6	83,3	24,1
	Q3	18,5	14,3	6,5	3,8	2,8	101,2	90,9	24,7
	max	20,5	15,3	6,8	4,0	3,1	107,9	101,5	25,6
85% $\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	25,6	20,6	7,5	4,7	2,8	108,1	75,3	22,6
	SD	3,2	2,8	0,5	0,3	0,5	4,4	8,5	1,4
	min	19,8	16,5	6,8	4,2	2,1	101,0	64,3	20,8
	Q1	23,0	18,3	7,0	4,6	2,4	103,4	68,8	21,7
	ME	26,3	20,4	7,6	4,7	2,8	109,2	74,3	22,3
	Q3	27,6	22,2	7,9	4,7	3,1	111,9	79,0	23,4
	max	30,3	25,5	8,4	5,3	3,4	112,2	92,5	24,9
$\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	38,3	34,4	6,9	5,5	1,4	120,6	53,4	17,4
	SD	3,0	2,9	0,4	0,4	0,1	2,5	5,5	0,6
	min	33,2	28,9	6,4	4,9	1,3	114,6	48,5	16,5
	Q1	37,7	34,0	6,7	5,3	1,3	120,3	50,9	16,9
	ME	38,3	34,1	6,8	5,5	1,4	121,1	52,2	17,4
	Q3	40,3	35,9	7,2	5,6	1,5	121,9	53,6	17,8
	max	43,1	39,2	7,6	6,2	1,6	123,7	68,3	18,5
CP $\dot{V}O_2$	$\bar{X}$	42,2	37,1	6,8	5,5	1,4	122,9	50,3	17,2
	SD	4,4	3,4	0,5	0,4	0,2	2,5	3,8	0,6
	min	38,5	34,3	5,9	4,8	1,1	119,6	46,3	16,5
	Q1	40,1	34,8	6,5	5,2	1,3	121,1	48,5	16,7
	ME	40,3	36,0	6,9	5,4	1,4	123,2	49,6	16,9
	Q3	43,4	38,5	7,0	5,7	1,5	124,4	50,9	17,8
	max	54,2	46,1	7,8	6,4	1,6	127,3	60,7	18,1

Таблиця Ж5 – Показники ефективності режимів масопереносу кисню

		Ef q _l O ₂	Ef q _A O ₂	Ef q _a O ₂	Ef q _v O ₂	KU _L O ₂	O ₂ ER _L	O ₂ ER _t
		л/л				%		
Test 30	$\bar{X}$	7,2	3,9	1,3	0,3	14,6	11,5	77,8
	SD	1,8	0,9	0,1	0,1	2,7	4,0	3,0
	min	5,5	3,0	1,2	0,2	8,4	3,5	69,6
	Q1	6,2	3,3	1,3	0,3	13,7	9,6	77,4
	ME	6,9	3,8	1,3	0,3	14,4	12,3	78,7
	Q3	7,3	4,0	1,3	0,3	16,3	13,6	79,4
	max	12,0	6,2	1,4	0,4	18,1	18,9	80,5
Test 30Rec	$\bar{X}$	7,9	5,8	1,5	0,5	15,8	16,0	66,6
	SD	6,0	4,2	0,1	0,1	5,0	11,5	3,1
	min	4,4	3,3	1,4	0,4	3,9	3,6	62,0
	Q1	9,6	7,0	1,4	0,4	8,7	13,8	64,7
	ME	6,2	4,7	1,5	0,5	16,2	15,1	67,1
	Q3	20,2	14,6	1,6	0,6	18,2	34,3	70,0
	max	25,5	18,4	1,6	0,6	23,0	44,5	72,6
65% $\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	4,7	3,5	1,7	0,7	21,5	9,3	58,6
	SD	0,6	0,4	0,1	0,1	2,4	6,3	2,1
	min	4,1	3,1	1,6	0,6	17,1	1,6	54,8
	Q1	4,2	3,2	1,7	0,7	19,9	4,3	57,3
	ME	4,6	3,5	1,7	0,7	21,6	7,9	58,9
	Q3	5,0	3,7	1,7	0,7	23,6	15,9	60,0
	max	5,9	4,3	1,8	0,8	24,2	17,9	61,6
85% $\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	5,5	4,4	1,6	0,6	18,4	30,1	62,8
	SD	0,5	0,4	0,1	0,1	1,9	9,7	4,2
	min	4,7	3,7	1,4	0,4	16,4	8,5	54,9
	Q1	4,9	3,9	1,5	0,5	16,8	25,5	60,4
	ME	5,7	4,5	1,6	0,6	17,6	29,3	63,5
	Q3	5,9	4,8	1,7	0,7	20,5	37,5	65,3
	max	6,1	4,8	1,8	0,8	21,2	40,1	69,2
$\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	7,0	6,3	1,3	0,3	14,4	55,7	79,5
	SD	0,51	0,49	0,02	0,02	1,1	4,7	1,5
	min	5,9	5,2	1,2	0,2	12,8	43,5	76,7
	Q1	6,8	6,2	1,2	0,2	13,8	54,4	78,7
	ME	7,0	6,3	1,3	0,3	14,4	56,8	79,7
	Q3	7,2	6,5	1,3	0,3	14,7	58,1	80,7
	max	7,8	7,0	1,3	0,3	16,9	60,1	81,7
CP $\dot{V}O_2$	$\bar{X}$	7,8	6,8	1,3	0,3	13,0	59,1	80,0
	SD	0,86	0,64	0,02	0,02	1,3	3,2	1,6
	min	6,8	6,0	1,2	0,2	10,5	50,1	77,7
	Q1	7,1	6,3	1,2	0,2	12,1	58,8	78,7
	ME	7,5	6,8	1,2	0,2	13,4	59,5	80,7
	Q3	8,3	7,1	1,3	0,3	14,2	60,6	81,2
	max	9,5	8,1	1,3	0,3	14,7	62,5	81,7

Таблиця Ж6 – Показники інтенсивності переміщення кисню

		Int qiO ₂	Int qAO ₂	Int qaO ₂	Int qtO ₂	Int qvO ₂
		мл/кг				
Test 30	$\bar{X}$	76,6	41,4	13,8	10,8	3,1
	SD	21,1	11,0	2,3	1,9	0,7
	min	49,5	27,7	9,8	7,6	2,1
	Q1	63,4	33,7	12,4	9,6	2,7
	ME	77,9	41,3	14,2	10,7	3,1
	Q3	82,3	45,2	15,3	12,1	3,4
	max	126,4	65,8	17,7	14,2	4,6
65% $\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	296,6	223,0	68,5	45,7	22,8
	SD	61,2	47,9	19,4	13,1	6,9
	min	177,9	133,4	16,2	10,6	5,6
	Q1	229,5	173,1	34,1	22,7	12,2
	ME	294,1	220,6	70,1	48,8	23,1
	Q3	332,6	252,3	69,9	46,9	25,5
	max	384,1	292,0	87,8	59,1	32,1
85% $\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	205,9	154,6	74,6	43,7	30,9
	SD	30,5	23,8	7,1	4,1	3,6
	min	163,5	124,1	63,7	37,9	25,9
	Q1	183,7	135,1	68,5	40,4	27,4
	ME	210,2	157,7	77,5	43,7	31,9
	Q3	223,0	171,8	79,0	46,6	33,5
	max	255,6	189,1	87,0	50,8	36,2
$\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	306,9	246,4	89,4	55,9	33,4
	SD	47,2	41,1	10,5	5,6	6,7
	min	243,0	187,1	72,7	46,5	22,4
	Q1	275,6	220,4	84,1	52,6	28,3
	ME	301,4	238,1	93,1	55,5	33,2
	Q3	336,4	277,6	94,5	59,0	39,1
	max	383,1	309,1	105,4	64,6	42,3
CP $\dot{V}O_2$	$\bar{X}$	457,7	411,3	82,9	65,9	17,0
	SD	44,0	44,0	7,2	5,8	2,0
	min	391,7	340,8	70,6	56,3	14,3
	Q1	425,2	383,5	79,0	62,2	15,4
	ME	454,7	403,3	82,6	65,9	16,9
	Q3	483,0	446,3	88,8	69,9	18,2
	max	523,2	476,1	92,5	75,2	19,9
Test 30	$\bar{X}$	504,9	443,7	81,7	65,3	16,4
	SD	57,0	51,7	7,6	6,4	1,8
	min	420,7	374,4	68,4	55,2	13,2
	Q1	473,2	403,7	77,6	61,0	15,1
	ME	489,3	425,7	81,9	65,5	16,9

Q3	528,6	475,5	87,0	68,9	17,6
max	640,4	544,4	95,1	77,7	19,3

Таблиця Ж7 – Показники кількості транспортованого кисню на одиницю потужності механічної роботи в організмі

		$W_{qI}O_2$	$W_{qA}O_2$	$W_{qa}O_2$	$W_{qt}O_2$	$W_{qv}O_2$
		мл/В				
Test 30	$\bar{X}$	9,7	5,2	1,8	1,4	0,4
	SD	2,9	1,5	0,4	0,3	0,1
	min	6,2	3,3	1,2	0,9	0,3
	Q1	7,9	4,1	1,4	1,1	0,3
	ME	9,2	5,3	1,8	1,3	0,4
	Q3	11,2	6,1	2,0	1,5	0,4
	max	16,2	8,4	2,5	2,0	0,6
65% $\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	56,2	42,2	20,4	12,0	8,5
	SD	7,9	6,3	2,4	1,2	1,3
	min	41,4	30,6	16,5	9,7	6,8
	Q1	52,6	39,0	19,4	11,3	7,7
	ME	57,0	44,4	20,4	11,9	8,5
	Q3	60,6	46,8	21,6	12,5	9,0
	max	67,2	49,8	25,2	13,8	11,4
85% $\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	74,2	59,5	21,6	13,5	8,0
	SD	12,1	10,1	2,5	1,4	1,5
	min	51,1	42,5	18,6	10,8	6,0
	Q1	66,6	52,1	19,6	12,7	6,8
	ME	76,5	60,5	21,4	13,5	8,3
	Q3	84,2	67,8	23,3	14,4	8,8
	max	89,6	75,3	25,9	15,8	11,0
$\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	99,5	89,4	18,0	14,3	3,7
	SD	6,3	6,5	1,1	0,8	0,4
	min	88,7	77,2	16,1	13,0	3,1
	Q1	98,1	87,4	17,4	13,9	3,4
	ME	101,2	91,4	17,9	14,4	3,6
	Q3	102,1	92,8	18,7	14,6	4,1
	max	110,9	98,7	20,0	16,0	4,5
CP $\dot{V}O_2$	$\bar{X}$	99,5	87,3	16,1	12,9	3,2
	SD	11,0	8,4	1,7	1,4	0,4
	min	84,0	75,6	13,0	10,5	2,5
	Q1	94,3	83,4	15,3	12,0	3,0
	ME	99,9	87,2	15,8	12,8	3,1
	Q3	101,7	88,4	17,1	13,5	3,6
	max	124,7	106,0	19,5	16,0	3,8

Функціональні характеристики систем енергозабезпечення

Таблиця Ж8 – Економічність та ефективність кардіореспіраторної системи

		HE	O ₂ HR	O ₂ RC	EqP _A CO ₂	EqO ₂	EqCO ₂
		л/л	мл/сс	мл/д.ц.	л/л		
Test 30	$\bar{X}$	6,3	9,7	52,7	0,7	34,1	34,8
	SD	0,6	2,3	9,4	0,2	8,4	2,9
	min	5,7	6,9	39,1	0,4	26,3	31,4
	Q1	5,9	7,9	45,6	0,5	29,4	32,6
	ME	6,3	9,7	52,6	0,6	33,0	34,2
	Q3	6,6	10,6	58,0	0,8	34,7	37,3
	max	7,8	15,2	70,6	1,1	57,0	39,6
Test 30Rec	$\bar{X}$	7,4	28,2	99,1	3,5	37,4	34,1
	SD	0,6	8,6	31,5	1,4	28,4	14,3
	min	6,6	7,1	22,5	1,9	20,7	26,5
	Q1	7,0	25,0	90,8	2,7	25,6	28,7
	ME	7,3	29,2	100,0	2,9	29,5	30,3
	Q3	7,6	33,2	124,0	3,9	33,9	31,4
	max	8,6	37,7	133,3	7,0	121,4	77,0
65% $\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	8,4	26,7	178,6	2,6	22,4	36,6
	SD	0,5	2,2	34,7	0,5	2,7	2,6
	min	7,7	23,6	133,3	1,8	19,7	32,5
	Q1	8,2	25,3	153,7	2,2	20,2	35,3
	ME	8,5	26,1	170,0	2,7	22,0	35,8
	Q3	8,7	28,3	208,7	3,0	23,9	37,6
	max	9,3	31,0	235,3	3,6	27,9	42,4
85% $\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	8,2	28,7	156,3	3,5	26,1	31,2
	SD	1,0	2,0	23,6	0,5	2,6	2,4
	min	6,6	25,3	119,4	2,7	22,5	26,9
	Q1	7,5	27,3	142,7	3,1	23,3	30,2
	ME	8,2	28,7	156,7	3,6	27,0	31,6
	Q3	8,7	29,8	177,9	3,9	28,3	32,5
	max	10,0	32,3	188,0	4,1	29,1	34,7
$\dot{V}O_{2max}$	$\bar{X}$	7,2	29,9	115,9	5,8	33,1	30,2
	SD	0,6	2,8	21,5	0,8	2,4	2,7
	min	6,3	26,4	90,0	4,0	28,2	25,1
	Q1	6,6	28,2	101,5	5,5	32,4	29,2
	ME	7,3	29,3	113,2	5,9	33,1	30,2
	Q3	7,7	30,5	124,5	6,3	34,4	32,1
	max	8,1	37,1	159,0	6,8	37,3	34,0
CP $\dot{V}O_2$	$\bar{X}$	7,3	29,6	103,5	7,3	37,0	35,3
	SD	0,5	3,1	11,5	1,5	4,1	4,5

	min	6,7	25,4	91,1	6,0	32,3	30,8
	Q1	6,9	28,5	95,0	6,3	33,6	31,8
	ME	7,1	29,5	98,1	6,6	35,6	33,1
	Q3	7,7	30,1	110,2	7,7	39,4	38,5
	max	8,1	37,6	128,0	11,0	45,3	43,1

Таблиця Ж9 – Параметри потужності та ємності функціонального забезпечення спортсменів

		EqO ₂	EqCO ₂	VO ₂
		л/л		
<u>test 30</u> <u>CP</u>	$\bar{X}$	93,9	99,9	16,5
	SD	28,6	13,6	2,4
	min	57,9	73,2	13,7
	25%	80,0	92,8	14,7
	med	87,7	97,8	15,6
	75%	96,7	106,6	18,2
	max	169,0	122,8	21,1
<u>65% VO₂ max</u> <u>CP</u>	$\bar{X}$	61,1	104,7	67,0
	SD	7,1	11,0	3,8
	min	44,1	81,9	62,5
	25%	58,7	99,1	64,0
	med	62,9	104,4	66,7
	75%	66,2	113,8	69,4
	max	68,1	116,6	74,5
<u>85% VO₂ max</u> <u>CP</u>	$\bar{X}$	71,3	89,6	85,6
	SD	9,8	11,9	3,2
	min	50,6	62,5	82,5
	25%	69,3	83,6	83,1
	med	70,2	93,2	84,3
	75%	78,5	97,8	88,5
	max	84,3	102,5	90,4
<u>VO₂ max</u> <u>CP</u>	$\bar{X}$	90,6	86,7	101,0
	SD	10,7	10,6	2,9
	min	62,3	58,3	96,9
	25%	88,7	84,8	98,2
	med	93,1	91,2	101,9
	75%	97,2	92,8	102,0
	max	102,5	94,5	105,9

Таблиця Ж10 – Показники кінетики кардіореспіраторної системи

Показники кінетики		Час, хв
τ_{O_2} (tau)	$\bar{X}$	0:00:39
	SD	0:00:09
	min	0:00:25
	Q1	0:00:30
	ME	0:00:35
	Q3	0:00:45
	max	0:00:55
$^{TD}O_2$	$\bar{X}$	0:00:55
	SD	0:00:33
	min	0:00:20
	Q1	0:00:30
	ME	0:00:40
	Q3	0:01:23
	max	0:02:05
$T_{65\%}O_2$	$\bar{X}$	0:01:39
	SD	0:00:33
	min	0:00:45
	Q1	0:01:05
	ME	0:01:25
	Q3	0:02:05
	max	0:02:45
$T_{max}O_2$	$\bar{X}$	0:10:03
	SD	0:01:19
	min	0:08:30
	Q1	0:09:13
	ME	0:09:55
	Q3	0:11:48
	max	0:13:40
$\Delta \dot{V}O_2$, л	$\bar{X}$	2,8
	SD	0,2
	min	2,4
	Q1	2,6
	ME	2,8
	Q3	2,9
	max	3,1
$\frac{VO_{2max}}{\Delta VO_2}$, %	$\bar{X}$	50,1
	SD	3,2
	min	44,6
	Q1	48,3
	ME	50,9

	Q3	51,8
	max	54,7

Таблиця 311 – Показники кислотно–лужного стану крові спортсменів

		P_{ACO_2}	pH	La	%LaCP	ΔLaCP	$\Delta\text{pH CP}$
		мм.рт. ст	од pH	ммоль/л	%	ммоль/л	од.pH
Test 30Rec	min	15,6	7,25	4,4	33,4	1,8	0,19
	Q1	22,7	7,29	5,4	38,7	3,6	0,22
	ME	38,0	7,36	6,0	43,9	7,9	0,28
	Q3	36,9	7,38	7,4	44,8	7,3	0,27
	max	44,0	7,42	8,4	80,0	9,1	0,30
$\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$	$\bar{X}$	32,0	7,15	10,7	81,4	2,5	0,07
	SD	3,0	0,07	1,5	7,7	1,1	0,02
	min	28,5	7,05	8,4	64,8	0,6	0,04
	Q1	29,9	7,11	9,6	78,2	1,9	0,06
	ME	31,5	7,16	11,0	81,5	2,3	0,08
	Q3	33,2	7,19	11,8	86,2	3,0	0,08
	max	39,6	7,26	12,9	93,3	5,0	0,09
CP $\dot{V}\text{O}_2$	$\bar{X}$	28,2	7,08	13,2			
	SD	3,1	0,08	1,8			
	min	23,2	6,97	9,0			
	Q1	26,4	7,03	12,7			
	ME	29,3	7,08	13,9			
	Q3	29,9	7,13	14,3			
	max	32,2	7,22	15,6			

ДОДАТОК И

ФІЗІОЛОГІЧНІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ СПОРТСМЕНІВ А, В, С

Фізіологічні параметри

Таблиця И1 – Параметри газообміну спортсменів А, В та С

		VO ₂		ḂCO ₂	RQ
		л/хв – *кг		л/кг	
А	Test 30	0,7	8,6	0,7	1,0
	Test 30Rec	4	49,1	4	1,0
	65%ḂO ₂ max	3,2	39,3	2	0,6
	85%ḂO ₂ max	4,2	51,6	2,9	0,7
	ḂO ₂ max	4,9	60,2	5,3	1,1
	CP ḂO ₂	4,8	59,0	5,7	1,2
В	Test 30	1	12,1	0,8	0,8
	Test 30Rec	4,6	55,8	4,4	1,0
	65%ḂO ₂ max	4	48,5	2,4	0,6
	85%ḂO ₂ max	5,3	64,3	4,9	0,9
	ḂO ₂ max	6,2	75,2	6,8	1,1
	CP ḂO ₂	6,4	77,7	6,3	1,0
С	Test 30	0,8	9,3	0,7	0,9
	Test 30Rec	3,5	40,8	2,4	0,7
	65%ḂO ₂ max	3,6	42,0	2,4	0,7
	85%ḂO ₂ max	4,6	53,7	3,8	0,8
	ḂO ₂ max	5,5	64,2	6,2	1,1
	CP ḂO ₂	5,4	63,0	5,6	1,0

Таблиця И2 – Параметри вентиляції та дифузії спортсменів А, В та С

		V _E	V _A	V _A /V _E	f	V _t	D _L O ₂	HR	SV	Ḃ
		л/хв	л/хв	%	д.ц./хв	мл	мл/мм.рт.ст	скор/хв	мл	л/хв
А	Test 30	22	11,4	52	15	1,5	141,2	98,5	45,1	4,4
	Test 30Rec	114	85,5	75	45	2,5	216,2	159,1	182,9	29,1
	65%ḂO ₂ max	65	48,1	74	15	4,3	2189,4	135,5	204,7	27,7
	85%ḂO ₂ max	94,5	78,4	83	24	3,9	107,1	145	288,3	41,8
	ḂO ₂ max	158	145,4	92	37	4,3	70,2	185,6	207,0	38,4
	CP ḂO ₂	183,2	164,9	90	44	4,2	66,3	189	186,9	35,3
В	Test 30	27,5	14,9	54	16	1,7	75,2	91,6	72,7	6,7
	Test 30Rec	135,6	107,1	79	35	3,9	410,2	122,5	266,3	32,6

65% $\dot{V}O_{2\max}$	88	70,4	80	17	5,2	230,3	141	242,8	34,2
85% $\dot{V}O_{2\max}$	144,4	121,3	84	29	5,0	118,1	164	282,6	46,3
$\dot{V}O_{2\max}$	205,3	186,8	91	39	5,3	91,9	167	271,9	45,4
CP $\dot{V}O_2$	206,8	184,1	89	50	4,1	89,8	170	289,7	49,3

C	Test 30	22,1	11,7	53	14	1,6	88,8	87,1	58,0	5,1
	Test 30Rec	72,6	54,5	75	37	2,0	1028,7	140,7	178,7	25,1
	65% $\dot{V}O_{2\max}$	85,8	64,4	75	27	3,2	198,6	140,8	206,1	29,0
	85% $\dot{V}O_{2\max}$	123	97,2	79	32	3,8	153,8	161,8	214,7	34,7
	$\dot{V}O_{2\max}$	191,4	164,6	86	58	3,3	104,6	180	193,1	34,8
	CP $\dot{V}O_2$	192,1	165,2	86	49	3,9	88,7	177	204,7	36,2

Таблиця ІЗ – Параметри кисневозв’язувальних властивостей крові спортсменів А, В та С

		S _a O ₂	S _v O ₂	Hb	Cmax	C _a O ₂	C _{a-v} O ₂	C _v O ₂
		об. %		г. %	об. %			
A	Test 30	96	19	15,0	20,1	19,6	15,7	3,8
	Test 30Rec	96	29			19,6	13,7	5,8
	65% $\dot{V}O_2$ max	96	40			19,6	11,5	8,0
	85% $\dot{V}O_2$ max	90	41			18,3	10,0	8,2
	$\dot{V}O_2$ max	82	23			16,6	12,8	3,9
	CP $\dot{V}O_2$	83	19			16,8	13,6	3,3

B	Test 30	95	20	14,7	19,7	19,0	15,0	3,9
	Test 30Rec	97	27			19,4	14,1	5,3
	65% $\dot{V}O_2$ max	95	37			19,0	11,7	7,3
	85% $\dot{V}O_2$ max	91	34			18,1	11,4	6,7
	$\dot{V}O_2$ max	84	18			16,7	13,7	3,1
	CP $\dot{V}O_2$	80	18			15,9	13,0	2,9

C	Test 30	96	23	15,9	21,3	20,7	15,8	4,9
	Test 30Rec	96	32			20,7	13,9	6,8
	65% $\dot{V}O_2$ max	95	38			20,5	12,4	8,1
	85% $\dot{V}O_2$ max	94	33			20,3	13,2	7,0
	$\dot{V}O_2$ max	91	19			19,6	15,8	3,8
	CP $\dot{V}O_2$	88	21			18,9	14,9	4,0

Режими масопереносу кисню

Таблиця И4 – Параметри об'ємної швидкості транспорту та парціальних тисків кисню в організмі спортсменів А, В та С

		qIO ₂	qAO ₂	qaO ₂	qtO ₂	qvO ₂	PAO ₂	PaO ₂	PvO ₂
		л/хв					мм рт ст		
А	Test 30	4,6	2,4	0,9	0,7	0,2	96,9	87,6	15,8
	Test 30Rec	23,9	18,0	5,7	4	1,7	109,4	90,9	20,1
	65% $\dot{V}O_{2max}$	13,7	10,1	5,4	3,2	2,2	92,3	90,9	24,1
	85% $\dot{V}O_{2max}$	19,8	16,5	7,6	4,2	3,4	103,5	64,3	24,9
	$\dot{V}O_{2max}$	33,2	30,5	6,4	4,9	1,5	120,6	50,9	18,5
	CP $\dot{V}O_2$	38,5	34,6	5,9	4,8	1,1	124,6	52,2	16,9
В	Test 30	5,8	3,1	1,3	1	0,3	91,6	80,3	16,2
	Test 30Rec	28,5	22,5	6,3	4,6	1,7	112,7	101,5	19,4
	65% $\dot{V}O_{2max}$	18,5	14,8	6,5	4	2,5	100,7	83,3	23,0
	85% $\dot{V}O_{2max}$	30,3	25,5	8,4	5,3	3,1	112,0	67,1	22,3
	$\dot{V}O_{2max}$	43,1	39,2	7,6	6,2	1,4	121,1	53,6	16,5
	CP $\dot{V}O_2$	43,4	38,7	7,8	6,4	1,4	119,7	48,5	16,5
С	Test 30	4,6	2,5	1,0	0,8	0,2	90,8	87,6	17,3
	Test 30Rec	15,2	11,4	5,2	3,5	1,7	94,3	90,9	21,2
	65% $\dot{V}O_{2max}$	18,0	13,5	6,0	3,6	2,4	101,5	83,3	23,4
	85% $\dot{V}O_{2max}$	25,8	20,4	7,0	4,6	2,4	108,9	79,0	21,9
	$\dot{V}O_{2max}$	40,2	34,6	6,8	5,5	1,3	120,9	68,3	16,9
	CP $\dot{V}O_2$	40,3	34,7	6,9	5,4	1,5	121,5	60,7	17,8

Таблиця И5 – Ефективність переміщення кисню в організмі спортсменів А, В та С

		Ef q _I O ₂	Ef q _A O ₂	Ef q _a O ₂	Ef q _v O ₂	KU _L O ₂	O ₂ ER _L	O ₂ ER _t
		л/л				%		
А	Test 30	6,60	3,43	1,24	0,24	15	10	80
	Test 30Rec	5,99	4,49	1,42	0,42	17	17	70
	65% $\dot{V}O_{2max}$	4,27	3,16	1,70	0,70	23	2	59
	85% $\dot{V}O_{2max}$	4,73	3,92	1,82	0,82	21	38	55
	$\dot{V}O_{2max}$	6,77	6,23	1,30	0,30	15	58	77
	CP $\dot{V}O_2$	8,02	7,21	1,24	0,24	12	58	81
В	Test 30	5,78	3,12	1,26	0,26	17	12	79
	Test 30Rec	6,19	4,89	1,38	0,38	16	10	73
	65% $\dot{V}O_{2max}$	4,62	3,70	1,62	0,62	22	17	62
	85% $\dot{V}O_{2max}$	5,72	4,81	1,59	0,59	17	40	63
	$\dot{V}O_{2max}$	6,95	6,33	1,22	0,22	14	56	82
	CP $\dot{V}O_2$	6,79	6,04	1,22	0,22	15	60	82

C	Test 30	5,80	3,07	1,31	0,31	17	3	76
	Test 30Rec	4,36	3,27	1,49	0,49	23	4	67
	65% $\dot{V}O_{2max}$	5,01	3,75	1,65	0,65	20	18	61
	85% $\dot{V}O_{2max}$	5,62	4,44	1,53	0,53	18	27	65
	$\dot{V}O_{2max}$	7,31	6,28	1,24	0,24	14	43	81
	CP $\dot{V}O_2$	7,47	6,42	1,27	0,27	13	50	79

Таблиця И6 – Параметри інтенсивності переміщення кисню в організмі спортсменів А, В та С

		Int q $\dot{I}O_2$	Int q $\dot{A}O_2$	Int q $\dot{a}O_2$	Int q $\dot{t}O_2$	Int q $\dot{v}O_2$
		мл/кг/хв				
A	Test 30	57,0	30,0	11,0	9,0	2,0
	Test 30Rec	294,1	220,6	70,0	49,1	20,8
	65% $\dot{V}O_{2max}$	168,0	124,0	67,0	39,0	27,0
	85% $\dot{V}O_{2max}$	243,8	202,4	93,9	51,6	42,3
	$\dot{V}O_{2max}$	408,0	375,0	79,0	60,0	18,0
	CP $\dot{V}O_2$	473,0	425,0	73,0	59,0	14,0
B	Test 30	70,0	38,0	15,0	12,0	3,0
	Test 30Rec	345,6	273,0	76,9	55,8	21,1
	65% $\dot{V}O_{2max}$	224,0	179,0	79,0	49,0	30,0
	85% $\dot{V}O_{2max}$	368,0	309,1	102,0	64,3	37,7
	$\dot{V}O_{2max}$	523,0	476,0	92,0	75,0	17,0
	CP $\dot{V}O_2$	527,0	469,0	95,0	78,0	17,0
C	Test 30	54,0	29,0	12,0	9,0	3,0
	Test 30Rec	177,9	133,4	60,8	40,8	20,0
	65% $\dot{V}O_{2max}$	210,0	158,0	69,0	42,0	27,0
	85% $\dot{V}O_{2max}$	301,4	238,1	82,2	53,7	28,5
	$\dot{V}O_{2max}$	469,0	403,0	79,0	64,0	15,0
	CP $\dot{V}O_2$	471,0	405,0	80,0	63,0	17,0

Таблиця И7 – Показники кисневої вартості механічної роботи на різних етапах транспорту кисню в організмі спортсменів А, В та С

		Wq $\dot{I}O_2$	Wq $\dot{A}O_2$	Wq $\dot{a}O_2$	Wq $\dot{t}O_2$	Wq $\dot{v}O_2$
		мл/кг/хв				
A	Test 30	7,2	3,8	1,4	1,1	0,3
	65% $\dot{V}O_{2max}$	41,4	30,6	16,5	9,7	6,8
	85% $\dot{V}O_{2max}$	51,1	42,5	19,7	10,8	8,9
	$\dot{V}O_{2max}$	99,3	91,4	19,1	14,7	4,5
	CP $\dot{V}O_2$	84,0	75,6	13,0	10,5	2,5
B	Test 30	9,2	4,9	2,0	1,6	0,4

	65% $\dot{V}O_{2\max}$	58,1	46,5	20,4	12,6	7,8
	85% $\dot{V}O_{2\max}$	82,4	69,2	22,8	14,4	8,4
	$\dot{V}O_{2\max}$	101,2	92,1	17,8	14,6	3,3
	CP $\dot{V}O_2$	108,3	96,4	19,5	16,0	3,6

C	Test 30	6,3	3,3	1,4	1,1	0,3
	65% $\dot{V}O_{2\max}$	53,5	40,1	17,7	10,7	7,0
	85% $\dot{V}O_{2\max}$	68,3	54,0	18,6	12,2	6,5
	$\dot{V}O_{2\max}$	98,8	84,9	16,7	13,5	3,2
	CP $\dot{V}O_2$	101,4	87,2	17,2	13,6	3,7

Функціональні характеристики систем енергозабезпечення

Таблиця И8 – Показники економічності кардіо–респіраторної системи спортсменів А, В та С

		HE	O ₂ HR	O ₂ RC	EqP _A CO ₂	EqO ₂	EqCO ₂
		л/л	мл/сс	мл/д.ц.	л/л	л/л	мл/сс
A	Test 30	6,3	7,1	46,67	0,42	31,43	31,43
	Test 30Rec	7,3	25,1	88,89	2,8	28,5	28,5
	65% $\dot{V}O_{2\max}$	8,7	23,6	213,33	1,8	20,31	32,50
	85% $\dot{V}O_{2\max}$	10,0	29,0	175,00	3,0	22,50	32,59
	$\dot{V}O_{2\max}$	7,8	26,4	132,43	5,0	32,24	29,81
	CP $\dot{V}O_2$	7,4	25,4	109,09	6,1	38,2	32,1

B	Test 30	6,7	10,9	62,50	0,59	27,50	34,38
	Test 30Rec	7,1	37,6	131,43	3,8	29,5	30,8
	65% $\dot{V}O_{2\max}$	8,6	28,4	235,29	3,0	22,00	36,67
	85% $\dot{V}O_{2\max}$	8,7	32,3	182,76	4,1	27,25	29,47
	$\dot{V}O_{2\max}$	7,3	37,1	158,97	6,5	33,11	30,19
	CP $\dot{V}O_2$	7,7	37,6	128,00	7,0	32,3	32,8

C	Test 30	6,3	9,2	57,14	0,43	27,63	31,57
	Test 30Rec	7,2	24,9	94,59	1,9	20,7	30,3
	65% $\dot{V}O_{2\max}$	8,1	25,6	133,33	2,7	23,83	35,75
	85% $\dot{V}O_{2\max}$	7,6	28,4	143,75	3,6	26,74	32,37
	$\dot{V}O_{2\max}$	6,3	30,6	94,83	5,9	34,80	30,87
	CP $\dot{V}O_2$	6,7	30,5	110,20	6,6	35,6	34,3

Таблиця И9 – Параметри потужності та ємності функціонального забезпечення спортсменів А, В та С

		EqO ₂ $\frac{SSt}{CP}$	EqCO ₂ $\frac{SSt}{CP}$	VO ₂ $\frac{SSt}{CP}$
		%		

A	Test 30	82,3	97,8	14,6
	65% $\dot{V}O_{2max}$	53,2	101,1	66,7
	85% $\dot{V}O_{2max}$	59,0	101,4	87,5
	$\dot{V}O_{2max}$	84,5	92,8	102,1
B	Test 30	85,1	104,7	15,6
	65% $\dot{V}O_{2max}$	68,1	111,7	62,5
	85% $\dot{V}O_{2max}$	84,3	89,8	82,8
	$\dot{V}O_{2max}$	102,5	92,0	96,9
C	Test 30	77,7	92,0	14,8
	65% $\dot{V}O_{2max}$	67,0	104,2	66,7
	85% $\dot{V}O_{2max}$	75,2	94,4	85,2
	$\dot{V}O_{2max}$	97,8	90,0	101,9

Таблиця И10 – Параметри кінетики споживання кисню спортсменів А, В та С

	$T_D O_2$	τO_2 (tau)	$T_{65\%} O_2$	$T_{max} O_2$	$\Delta \dot{V}O_2$	$\dot{V}O_2 \frac{\Delta}{max}$
	XB				Л	%
A	00:25	00:35	01:00	10:10	2,5	51,0
B	00:40	02:05	02:45	13:40	3,0	48,4
C	00:55	00:55	01:50	09:50	2,8	50,9

Таблиця И11 – Показники кислотно–лужного стану спортсменів А, В та С

		P_{ACO_2}	La	pH	%La / CP	$\Delta\text{la}/\text{CP}$	$\Delta\text{pH}/\text{CP}$
		мм.рт. ст	од pH	ммоль/л	%	ммоль/л	од.pH
А	Test 30	40,4	5,08	7,42	35,8	9,1	0,22
	$\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$	31,5	9,2	7,25	64,8	5,0	0,22
	CP $\dot{V}\text{O}_2$	29,8	14,2	7,2			
В	Test 30	35,4	4,69	7,37	41,8	6,5	0,26
	$\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$	31,4	8,9	7,18	79,3	2,3	0,26
	CP $\dot{V}\text{O}_2$	29,5	11,2	7,11			
С	Test 30Rec	38,0	6,85	7,36	44,0	8,7	0,30
	$\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$	32,5	12,9	7,14	82,9	2,7	0,30
	CP $\dot{V}\text{O}_2$	29,3	15,6	7,06			