



ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ КВАРТИЛЬНОГО СТАНДАРТИЗОВАНОГО ОЦІНЮВАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ РЕЖИМІВ МАСОПЕРЕНОСУ КИСНЮ У СПОРТСМЕНІВ

Михайло ФІЛІППОВ, Ольга ДЯЧЕНКО

У роботі представлено можливості застосування формалізованого методу квартильного стандартизованого оцінювання (QSGM) для моніторингу режимів масопереносу O_2 (РМК) в організмі, які відображають узгодженість транспорту та його утилізації у спортсменів під час інтенсивної м'язової роботи. Виявлено, що РМК мають різні функціональні профілі в залежності від індивідуальних особливостей стану, можливостей кардіореспіраторної системи (КРС) та тканинних механізмів метаболізму. В якості конкретного прикладу в статті розглядаються характеристики трьох спортсменів високого класу з такими індивідуальними особливостями – аналіз інтегральних показників блоків РМК дозволив виявити чіткі індивідуальні відмінності у функціонуванні системи масопереносу O_2 . Спортсмен А характеризувався переважно низькою ефективністю доставки та утилізації O_2 з обмеженнями на рівні тканин й недостатньою узгодженістю етапів його переміщення при аеробних навантаженнях. Спортсмен В мав високі та стабільні інтегральні показники, що відображало оптимальну координацію вентиляційної, гемодинамічної та тканинної складових, з максимальною реалізацією потенціалу РМК при навантаженнях з максимальною і критичною потужністю. Спортсмен С демонстрував збалансований проміжний профіль із помірною потужністю РМК та адаптивною зміною ефективності дифузійного переміщення O_2 залежно від інтенсивності навантаження. В результаті проведеної уніфікації різнорідних фізіологічних показників з допомогою метода QSGM сформовано модельні характеристики функціонального стану та резервних можливостей організму кожного з представлених спортсменів. Показано, що візуалізація отриманих результатів із квартильним та кольоровим кодуванням полегшує порівняльний аналіз і моніторинг фізіологічних і енергетичних процесів при фізичних навантаженнях різної інтенсивності. Використання QSGM дозволяє стандартизувати фізіологічні параметри, підвищити чутливість моніторингу функціонального стану та провести системний аналіз узгодженості роботи КРС в умовах м'язового навантаження різної інтенсивності.

Ключові слова: метод квартильного стандартизованого оцінювання, режими масопереносу кисню, фізичні навантаження, спортсмени високої кваліфікації, модельні характеристики функціонального стану організму.

Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна; e-mail: filmish@ukr.net, dnkolga@gmail.com

Філіппов М.: <https://orcid.org/0000-0001-5096-7445>

Дяченко О.: <https://orcid.org/0009-0003-8380-3713>

Application of the quartile standardized assessment method for monitoring oxygen mass transfer regimes in athletes Filippov M., Diachenko O.

The paper presents the potential application of the Quartile Standardized Grading Method (QSGM) for monitoring oxygen mass transfer regimes (OMTR) in the body, reflecting the coordination between oxygen transport and utilization during intensive muscular work in athletes. It was found that OMTR demonstrate distinct functional profiles depending on individual characteristics, the capacity of the cardiorespiratory system (CRS), and tissue metabolic mechanisms. As a specific example, the paper analyzes three elite athletes with different individual features. Analysis of the integral indices of the OMTR blocks revealed clear individual differences in the functioning of the oxygen mass transfer system. Athlete A was characterized by relatively low efficiency of oxygen delivery and utilization, with tissue-level limitations and insufficient coordination of transport stages during aerobic exercise. Athlete B demonstrated high and stable integral indices, reflecting optimal coordination of ventilatory, hemodynamic, and tissue components, with maximal realization of OMTR potential at maximal and critical power outputs. Athlete C showed a balanced intermediate profile, with moderate OMTR capacity and adaptive changes in diffusion efficiency depending on exercise intensity. Through the unification of heterogeneous physiological indicators using QSGM, model characteristics of functional state and reserve capacities were developed for each

athlete. Visualization of the results with quartile and color coding facilitated comparative analysis and monitoring of physiological and energetic processes at different exercise intensities. The use of QSGM enables standardization of physiological parameters, enhances sensitivity in monitoring functional state, and provides a systemic assessment of CRS coordination under varying levels of muscular loads.

Key words: quartile standardized grading method, oxygen mass transfer regimes, physical exercise, elite athletes, model characteristics of the functional state of the body.

National University on Ukraine of Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine; e-mail: filmish@ukr.net, dnmolga@gmail.com

Filippov M.: <https://orcid.org/0000-0001-5096-7445>

Diachenko O.: <https://orcid.org/0009-0003-8380-3713>

Вступ

Сучасна функціональна діагностика у спорті вищих досягнень базується на зборі й аналізі великого масиву даних, що характеризують стан фізіологічних систем, залучених до забезпечення роботи скелетних м'язів при навантаженні високої інтенсивності та механізмів компенсації втоми (Herdy et al 2016; Mujika 2017; Puyin et al. 2024). Одним із ключових інтегральних напрямів такого аналізу є оцінка режимів масопереносу кисню (РМК), які відображають узгодженість вентиляційних, гемодинамічних і тканинних механізмів доставки та утилізації O_2 на різних рівнях функціональної організації. Каскади об'ємних швидкостей масопереносу O_2 (qO_2), парціальних тисків (PO_2), його споживання тканинами, а також ефективності та інтенсивності РМК дозволяють різнобічно характеризувати функціональні системи, що забезпечують процес транспорту цього газу при різній інтенсивності навантаження (Diachenko et al. 2023).

Фізіологічні показники часто характеризуються асиметричними розподілами, наявністю викидів і високою індивідуальною варіабельністю (Taylor et al. 2012; Bourdon et al. 2017), тож принципового значення набуває не лише точність вимірювань, а й коректність статистичної обробки та інтерпретації результатів. Застосування кuartильної статистики (Kisielińska 2024; Avdović, Jevremović 2022) дозволяє адекватно відобразити реальну структуру даних, охарактеризувати модельні діапазони та зменшити вплив крайніх значень. Метод кuartильного стандартизованого оцінювання (quartile-standardized grading method, QSGM), реалізований у вигляді системи балів, відповідає принципам нормативно-орієнтованого підходу (norm-referenced assessment), які в низці наукових робіт використовувалися для інтерпретації складних та варіабельних показників шляхом їх ранжування відносно групових норм. Зокрема, Lok, McNaught і Young (2016) показали доцільність поєднання norm- та criterion-referenced оцінювання для підвищення чутливості інтерпрета-

ції індивідуальних результатів, тоді як Betebenner (2009) обґрунтував ефективність norm-referenced підходів для аналізу динаміки показників у неоднорідних вибірках. У спортивній та фізіологічній науках аналогічні принципи застосовувалися при побудові перцентильних і кuartильних норм для оцінки функціонального стану та фізичної підготовленості спортсменів, що дозволяло зменшити вплив крайніх значень, підвищити відтворюваність результатів і забезпечити більш інформативну індивідуальну інтерпретацію даних. Використання QSGM у дослідженні РМК та аеробно-анаеробного енергозабезпечення дозволяє стандартизувати фізіологічні параметри, підвищити чутливість моніторингу функціонального стану та провести системний аналіз узгодженості роботи КРС в умовах м'язового навантаження різної інтенсивності.

Мета дослідження: обґрунтувати застосування методу кuartильного стандартизованого оцінювання для проведення моніторингу режимів масопереносу O_2 і інтерпретації комплексних фізіологічних даних у спортсменів високої кваліфікації.

Методи досліджень

Теоретичні методи. Теоретичну основу дослідження сформовано шляхом аналізу наукових і науково-методичних джерел, представлених у наукометричних базах даних. Узагальнення літературних даних дозволило обґрунтувати доцільність застосування нормативно-орієнтованого підходу та кuartильного стандартизованого оцінювання для інтерпретації багатовимірних фізіологічних даних у спорті високих досягнень.

Фізіологічні методи. Фізіологічне тестування спрямовували на оцінку режимів масопереносу та споживання O_2 (VO_2). Аналіз здійснювали з урахуванням блоків функціональних показників, що характеризують об'ємні швидкості транспорту O_2 , каскад його парціальних тисків, споживання тканинами, а також ефективність та інтенсивність його масопереносу. Розрахунок показників вико-

нували на основі загальноприйнятих рівнянь газообміну, вентиляційно-перфузійних співвідношень і кровообігу (Filippov et al. 2024b).

Інструментальні методи. Дослідження проводили з використанням сертифікованого обладнання: портативного газоаналізатора Oxycon Mobile Pro (VIASYS Healthcare, Німеччина), аналізатора частоти серцевих скорочень Polar T34 (Фінляндія), лабораторного комплексу «Biosen S. line lab+» для визначення біохімічних показників крові, оксигеометра Biomed BM1000A, автоматичного тонометра Omron M7 Intelli AFib та ергометра Concept 2. Обладнання застосовували відповідно до стандартних протоколів фізіологічного тестування.

Ергометричні методи. Ергометричний контроль був проведений згідно сучасних концепцій (Physiological ... 2012), а також із використанням протоколів, адаптованих для фізіологічного тестування у веслуванні академічному (Diachenko, Wei 2024). Сучасні концепції навантаження критичної потужності кваліфікованих спортсменів у циклічних видах спорту. Дослідження проводилося з використанням ергометра Concept II. Програма тестування включала максимальний 30-секундний тест (test30) для оцінки анаеробної (гліколітичної) потужності, ступінчастий тест із індивідуалізованим рівнем ергометричної потужності до відмови із фіксацією реєстрацією показників на рівнях 65 % та 100 % максимального споживання O_2 (МСК або VO_{2max}), а також тест навантаження критичної потужності (CP) тривалістю 2 хв, що відповідала рівню досягнення МСК. Період відновлення між тестовими навантаженнями становив 5 хв.

Статистичні методи. Статистичну обробку даних виконували з використанням квартильної статистики. Показники описували за допомогою медіани (Me), min-max та міжквартильного діапазону (IQR).

Для стандартизації різнорідних фізіологічних параметрів застосовували метод квартильного стандартизованого оцінювання з переведенням

абсолютних значень у бали за принципом, представленим у таблиці 1.

QSGM полягає у перетворенні різнорідних фізіологічних показників у стандартизовані бали на основі квартильного розподілу. Значення показника порівнювалось із межами квартилів вибірки, на основі яких він оцінюється балом від 1 до 5: для параметрів, де зростання є позитивним, найвищий бал отримують значення вище Q_3 , а найнижчий – нижче Q_1 ; для показників із негативною інтерпретацією – навпаки.

Такий підхід дозволив об'єднати різні параметри в єдину шкалу, забезпечуючи порівнянність і чутливість до індивідуальних відмінностей спортсменів. Кольорове кодування квартильних зон дозволяє швидко визначати рівень функціонального стану, порівнювати спортсменів між собою та відстежувати динаміку показників у процесі моніторингу.

У дослідженні брали участь спортсмени академічного веслування високої кваліфікації (чоловіки, $n=12$; вік $20\pm 2,1$ року; стаж підготовки $5 \leq$ років). Дослідження проведено у підготовчому періоді тренувального циклу в стандартних лабораторних умовах на базі НДІ НУФВСУ та лабораторії Lab of Aquatic Training Monitoring and Intervention (Університет провінції Дзяньши, Наньчан) за участю фахівців обох установ; перед початком експерименту проаналізовано архівні протоколи та остаточно визначено методику і протокол реєстрації показників.

Результати досліджень та обговорення

Була проведена статистична обробка попередньо розрахованих параметрів РМК спортсменів, зокрема об'ємних швидкостей транспорту O_2 (qO_2 , л), та його парціальних тисків (PO_2 , мм.рт.ст), коефіцієнтів використання O_2 в легенях ($KU_L O_2$) і утилізації – в тканинах ($KU_T O_2$), а також ефективності (показник, за яким оцінюється в скільки разів швидкість поетапного переміщення O_2 перевищує швидкість його споживання ($EfqO_2$, рази) та

Таблиця 1. Принцип розподілу балів за методом QSGM

Table 1. The principle of score distribution according to the method

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: n = значення показника, що оцінюється за системою QSGM

Note: n = indicator value estimated by the QSGM system

питомої потужності (WqO_2 , мл/хв/Watt) (Filiprov et al. 2024a).

Це дозволило стандартизувати параметри та оцінити внесок кожного з них у формування профілю РМК.

Інтегральним показником транспорту O_2 від дихальних шляхів до периферичних тканин є його кількісна характеристика поетапного переміщення (qO_2) (Habler, Messmer 1997; Filiprov et al. 2023).

У таблиці 2 представлені оцінки qO_2 у спортсменів А, В та С. Вища швидкість масопереносу O_2 оцінена вищим балом.

У test30 спортсмен А характеризувався відносно низькою об'ємною швидкістю переміщення

O_2 в організмі, при різкому посиленні вентиляційної ланки при інтенсивності 65 % VO_2 , VO_{2max} та $CPVO_2$ ($q_{I}O_{2max}=44,6$ л, $q_{A}O_{2max}=35,0$ л). При цьому показники тканинного та венозного транспорту ($q_{I}O_2$, $q_{V}O_2$) залишалися на помірному рівні (2–3 бали). Це могло свідчити про обмеження з боку гемодинаміки. Попри позитивну динаміку зростання інтенсивності навантаження, qO_2 у спортсмена А залишалася нижчою порівняно з іншими обстеженими.

Спортсмен В, на відміну від спортсмена А, демонстрував найвищі бали каскаду qO_2 test30, що відповідає швидкому залученню ланок КРС вже під час короткого інтенсивного наванта-

Таблиця 2. Оцінка показників каскаду qO_2

Table 2. Evaluation of the cascade indicators

Спортсмени (А, В, С); тести		$q_I O_2$	$q_A O_2$	$q_a O_2$	$q_t O_2$	$q_V O_2$	Інтегральний бал
Оцінки							
А	test30	1	2	2	1	2	1,6
	65% VO_2	5	5	2	2	3	3,4
	VO_2 max	5	5	2	2	2	3,2
	$CPVO_2$	5	4	2	2	2	3,0
	Абсолютні значення, л						
	test30	4,6	2,6	0,9	0,7	0,20	–
	65% VO_2	20,5	15,2	5,9	3,5	2,39	–
	VO_2 max	40,7	36,2	6,5	5,2	1,33	–
$CPVO_2$	44,6	36,1	6,3	5,1	1,22	–	
Оцінки							
В	test30	4	5	4	4	4	4,2
	65% VO_2	2	3	5	3	5	3,6
	VO_2 max	3	3	4	4	3	3,4
	$CPVO_2$	2	3	4	4	3	3,2
	Абсолютні значення, л						
	test30	6,9	3,8	1,3	1,0	0,26	–
	65% VO_2	15,3	11,9	6,8	3,7	3,06	–
	VO_2 max	38,3	34,1	6,9	5,6	1,34	–
$CPVO_2$	39,3	35,0	7,0	5,6	1,43	–	
Оцінки							
С	test30	3	3	3	2	3	2,8
	65% VO_2	5	4	3	3	3	3,6
	VO_2 max	3	3	3	2	4	3,0
	$CPVO_2$	2	3	2	3	2	2,4
	Абсолютні значення, л						
	test30	5,7	3,0	1,0	0,8	0,23	–
	65% VO_2	18,6	13,8	6,3	3,7	2,64	–
	VO_2 max	37,9	34,1	6,7	5,3	1,43	–
$CPVO_2$	40,0	36,0	6,4	5,2	1,16	–	

ження (Рис. 1). Високі $q_{I}O_2$ та $q_{A}O_2$ (4 та 5 балів; 6,9 та 3,8л) свідчили про значну активацію вентиляційного компонента. $q_{I}O_2 = 1,0$ л/хв відображає загальну ефективність каскаду (4 бали), і є високим середньогруповим показником для короточасної швидкісної роботи. Середньо-високі оцінки $q_{V}O_2$ (3-5 балів) вказували на інтенсивну тканинну утилізацію O_2 . Така конфігурація каскаду характерна для короткотривалих навантажень максимальної інтенсивності з домінуванням периферичних механізмів утилізації O_2 .

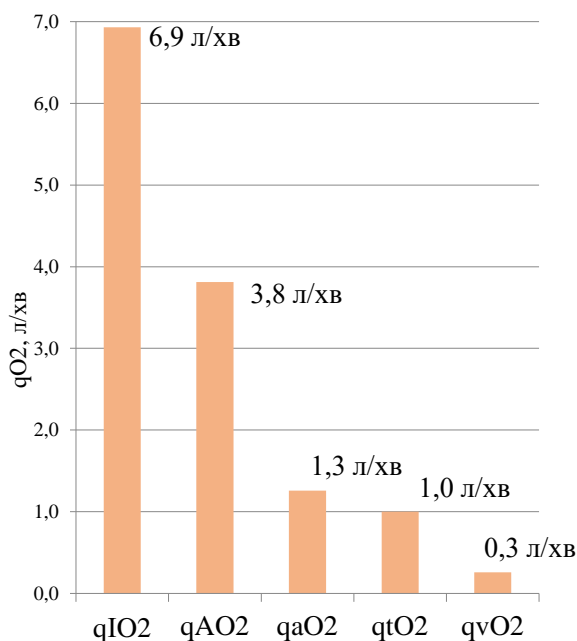


Рис. 1. Каскад q_{O_2} , л/хв в test30 у спортсмена В
Fig. 1. q_{O_2} cascade ($L \cdot min^{-1}$) in the test30 in Athlete В

Інтегральний бал у спортсмена В залишався стабільно високим при 65% O_2 max, VO_2 max і $CPVO_2$ (3,2–3,6 бала). Із виходом на стабільний стан 65% O_2 max і до закінчення тесту спостерігаються обмеження з боку респіраторного компонента масопереносу O_2 (2-3 бали) при високих швидкостях його артеріального транспорту та споживання (3-5 балів; q_{aO_2} max 7,0 л/хв, q_{tO_2} max 5,6 л/хв).

Спортсмен С займав проміжне положення між спортсменами А та В. Оцінки більшості компонентів q_{O_2} відповідали медіанному рівню (3 бали), а інтегральні показники коливалися в межах 2,4–3,6 бала. Високі $q_{I}O_2$ та $q_{A}O_2$ (5-4 бали) спостерігалися при навантаженні 65 % VO_2 max, вказуючи на ефективну діяльність дихальної системи у аеробному режимі. Водночас на рівні $CPVO_2$

відзначалося обмеження швидкості масопереносу O_2 при граничних навантаженнях (2-3 бали).

Каскад PO_2 є функціональним відображенням узгодженості вентиляційного, гемодинамічного та тканинного компонентів режимів масопереносу O_2 (Ortiz-Prado et al. 2019), а зміни його структури дозволяють оцінювати лімітуючі ланки киснезабезпечення при фізичній роботі (Dominelli et al. 2021). Високий парціальний тиск O_2 створює сприятливий градієнт для його дифузії та формується рядом факторів: як фізико-хімічними властивостями O_2 та умовами зовнішнього середовища (барометричний тиск O_2 , тиск водяної пари, висота над рівнем моря), так і функціональним станом КРС та кисневов'язувальних властивостей крові. Важливу роль при цьому відіграють положення кривої дисоціації оксигемоглобіну ODC та зсуви кислотно-лужного стану (КЛС), що змінюють спорідненість Hb до O_2 та підвищують ефективність його забору в тканинах. Однак, зі збільшенням інтенсивності динаміка не є лінійною: при навантаження субмаксимальної інтенсивності спостерігається підвищення P_{AO_2} при одночасному зниженні PaO_2 . Це підтверджуються експериментальними даними (Табл. 3). Починаючи з навантаження 85 % VO_2 max та до закінчення тесту простежується тренд до зростання альвеолярно-артеріального градієнта, що свідчить про поступове зниження ефективності вентиляційної ланки.

У таблиці 3 також надані оцінки значень показників каскаду парціальних тисків O_2 . Вищі значення альвеолярного та артеріального PO_2 відзначалися вищими оцінками, венозного – нижчими.

Спортсмен А характеризувався позитивною динамікою показників за ходом тестування. Оцінки показників блоку в test30 (2–3 бали) свідчили про помірну швидкість активації O_2 -транспорту. Але вже при 65% VO_2 було зафіксовано максимальні оцінки P_{AO_2} та P_{aO_2} (по 5 балів; 108 та 101 мм.рт.ст) за помірного зростання P_{vO_2} (3 бали), що цілком відповідає профілю q_{O_2} . Водночас при досягненні VO_2 max і $CPVO_2$ відзначалося зниження оцінок PaO_2 до 3 балів за збереження відносно підвищених значень P_{vO_2} , що свідчило про зменшення артеріо-венозного градієнта PO_2 .

Спортсмен В демонстрував виражену варіабельність компонентів каскаду PO_2 . При навантаженні 65 % VO_2 було зафіксовано різке зниження P_{vO_2} до 1 балу (26 мм.рт.ст) на фоні зростання P_{aO_2} до 4 балів, що могло бути показником недостатньої тканинної утилізації O_2 при високій його доставці. При досягненні VO_2 max інтегральна оцінка знову зростала (3,3 бали) внаслідок поєднання високого

P_aO_2 і P_vO_2 (по 4 бали), що вказувало але адаптивну перебудову КРС, проте зниження інтегрального балу тесту $CPVO_2$ може вказувати на виснаження O_2 -транспортних механізмів.

Спортсмен С мав відносно рівномірний, але помірний профіль каскаду PO_2 . На всіх етапах навантаження значення P_AO_2 залишалися стабільно підвищеними (4 бали), тоді як P_aO_2 характеризувався стійко низькими оцінками (1-2 бали; зниження P_aO_2 від 88 до P_vO_2 46 мм.рт.ст), що чітко вказувало на обмеження альвеолярно-капілярної перфузії O_2 . Лише при $CPVO_2$ було зафіксовано виражене зниження P_vO_2 (17 мм.рт.ст, 5 балів), що демонструвало максимальне вилучення O_2 із артеріальної крові працюючими м'язами.

Каскад переміщення O_2 характеризує здатність системи вилучати O_2 на легеновому та тканинному рівнях (Stickland et al. 2013, Wolff 2007). Коефіцієнт використання O_2 легеньми ($KU_L O_2$, %) характеризує загальний рівень його використання в легенях, та відображає ефективність вентиляційно-перфузійної взаємодії і характеризує втрати або обмеження дифузії O_2 між альвеолами та кров'ю, тоді як $KU_L O_2$, % відображає периферичну утилізацію O_2 .

Вищі значення показників використання O_2 оцінювались вищими балами (Табл. 4).

У спортсмена А при test30 відзначалися помірно високі оцінки легенових компонентів використанні O_2 ($KU_L O_2$, O_2ER_L по 4 бали) за відносно нижчого (3 бали). При 65 % VO_2 та вище

Таблиця 3. Оцінка показників каскаду PO_2 в організмі
Table 3. Evaluation of the $P O_2$ cascade indicators in the body

Спортсмени (А, В, С); тести	P_AO_2	P_aO_2	P_vO_2	Загальний бал	
А	Оцінки				
	test30	3	2	2	2,3
	65% VO_2	5	5	3	4,3
	VO_2 max	5	3	3	3,7
	$CPVO_2$	4	3	3	3,3
	Абсолютні значення, мм.рт.ст				
	test30	100	88	17	–
	65% VO_2	108	101	24	–
	VO_2 max	124	52	17	–
	$CPVO_2$	124	50	17	–
В	Оцінки				
	test30	4	2	4	3,3
	65% VO_2	3	4	1	2,7
	VO_2 max	2	4	4	3,3
	$CPVO_2$	2	3	2	2,3
	Абсолютні значення, мм.рт.ст				
	test30	102	88	16	–
	65% VO_2	93	91	26	–
	VO_2 max	120	54	17	–
	$CPVO_2$	121	50	17	–
С	Оцінки				
	test30	4	2	2	2,7
	65% VO_2	4	1	3	2,7
	VO_2 max	4	1	2	2,3
	$CPVO_2$	4	1	5	3,3
	Абсолютні значення, мм.рт.ст				
	test30	101	88	17	–
	65% VO_2	101	83	24	–
	VO_2 max	122	48	18	–
	$CPVO_2$	124	46	17	–

були зафіксовані мінімальні значення $KU_L O_2$ (1 бал; 17-11 %) на фоні зростання тканинної утилізації O_2 (4 бали).

Спортсмен В демонстрував виражену варіабельність компонентів каскаду. У test30 було зафіксовано максимальне значення $O_2 ER_L$ (5 балів; 14 %) за високої тканинної екстракції (4 бали). Водночас при 65 % $VO_2 max$ спостерігалася асинхронність каскаду: максимальний $KU_L O_2$ (5 балів; 24 %) поєднувався з мінімальним значенням $KU_L O_2$ (1 бал; 55 %), що вказувало на недостатню реалізацію периферичних механізмів утилізації O_2 , тоді як при $VO_2 max$ тканинний компонент досягав максимальних значень (5 балів; 81 %). Це вказує на максимальні можливості утилізації O_2 саме при роботі у зоні $VO_2 max$. Під час граничного навантаження більшим був внесок легеневого вилу-

чення O_2 ($KU_L O_2$ 5 балів, 14 %) при збалансованій тканинній його утилізації (по 3 бали).

Спортсмен С характеризувався найбільш стабільними інтегральними оцінками. На всіх етапах тестування $O_2 ER_L$ залишався на максимальному рівні (5 балів; 14–18–60–62 %), що характеризує високу ефективність екстракції артеріальною кров'ю. $KU_L O_2$ коливався в залежності від навантаження, проте доходив до максимуму при $CPVO_2$ (5 балів; 82 %). Це вказувало на значні резерви периферичної утилізації O_2 .

Відношення qO_2 на вентиляційній, альвеолярній, артеріальній, та венозній ланках до $q_L O_2$ (об'ємної швидкості споживання O_2 , $qtO_2 = VO_2$) відображає на скільки його масоперенос на кожному етапі більше споживання. Цей показник ($EfqO_2$) слугує інтегральною характеристикою

Таблиця 4. Оцінка показників використання O_2 в легенях і утилізації його в тканинах
Table 4. Evaluation of O_2 utilization in the lungs and its tissue-level consumption

Спортсмени (А, В, С); тести	$KU_L O_2$	$O_2 ER_L$	$KU_L O_2$	Загальний бал	
А	Оцінки				
	test30	4	4	3	3,7
	65% VO_2	1	3	4	2,7
	$VO_2 max$	1	4	3	2,7
	$CPVO_2$	2	4	3	3,0
	Абсолютні значення, %				
	test30	15	13	77	–
	65% VO_2	17	6	59	–
	$VO_2 max$	13	58	80	–
	$CPVO_2$	11	60	81	–
В	Оцінки				
	test 30	3	5	4	4,0
	65% VO_2	5	2	1	2,7
	$VO_2 max$	4	3	5	4,0
	$CPVO_2$	5	3	3	3,7
	Абсолютні значення, %				
	test 30	14	14	79	–
	65% VO_2	24	3	55	–
	$VO_2 max$	15	55	81	–
	$CPVO_2$	14	59	80	–
С	Оцінки				
	test30	3	5	2	3,3
	65% VO_2	2	5	3	3,3
	$VO_2 max$	3	5	3	3,7
	$CPVO_2$	3	5	5	4,3
	Абсолютні значення, %				
	test30	14	14	77	–
	65% VO_2	20	18	58	–
	$VO_2 max$	14	60	79	–
	$CPVO_2$	13	62	82	–

ефективності транспорту O_2 (Табл. 5). Нижчі значення показників q_{O_2} отримали вищі бали.

Спортсмен А характеризувався помірним Efq_{O_2} у test30, але вже при 65 % VO_2 було зафіксовано мінімальні оцінки Efq_{O_2} та $Efq_A O_2$ (5,86 та 4,33 л/л), які зберігалися і при VO_2 max (7,83 та 6,97 л/л) та $CPVO_2$ (8,75 та 7,08 л/л). Це вказує на зниження легеневого та альвеолярного напруження O_2 при аеробному навантаженні. Водночас ефективність артеріальної та венозної ланок залишалася помірною (2-3 бали), підтверджуючи відносно стабільну периферичну утилізацію O_2 .

Спортсмен В, на відміну від спортсмена А, демонстрував більш стабільні показники ефективності РМК. При 65 % VO_2 було зафіксовано мінімальні оцінки $Efq_A O_2$ та $Efq_V O_2$ (по 1 балу; 1,83 та 0,83 л/л), що свідчило про зниження ефективності

периферичного транспорту та утилізації O_2 в умовах субмаксимального навантаження. Водночас при VO_2 max спостерігалось зростання ефективності всіх ланок, (по 4 бали; 1,24 та 0,24 л/л). Така динаміка вказувала на адаптивну перебудову механізмів транспорту O_2 при граничних навантаженнях, чого не спостерігалось у спортсмена А.

Спортсмен С характеризувався найнижчими оцінками ефективності РМК на початкових етапах тестування. У test30 було зафіксовано мінімальні значення $Efq_A O_2$ та $Efq_V O_2$ (по 1 балу; 1,29 та 0,29 л/л), що свідчило про знижену ефективність периферичного транспорту O_2 . Подібна структура зберігалася і при 65 % VO_2 та VO_2 max, де більшість показників оцінювалися в 1-2 бали. Лише при $CPVO_2$ було зафіксовано максимальні оцінки $Efq_A O_2$ та $Efq_V O_2$ (по 5 балів; 1,22 та 0,22 л/л),

Таблиця 5. Оцінка показників ефективності РМК

Table 5. Evaluation of RMC efficiency indicators

Спортсмени (А, В, С); тести	Efq_{O_2}	$Efq_A O_2$	$Efq_A O_2$	$Efq_V O_2$	Загальний бал	
А	Оцінки					
	test30	3	3	2	2	2,5
	65% VO_2	1	1	3	3	2,0
	VO_2 max	1	1	3	3	2,0
	$CPVO_2$	1	2	3	3	2,3
	Абсолютні значення, л/л					
	test30	6,54	3,66	1,29	0,29	–
	65% VO_2	5,86	4,33	1,68	0,68	–
	VO_2 max	7,83	6,97	1,26	0,26	–
	$CPVO_2$	8,75	7,08	1,24	0,24	–
В	Оцінки					
	test30	3	2	3	3	2,8
	65% VO_2	4	3	1	1	2,3
	VO_2 max	3	4	4	4	3,8
	$CPVO_2$	4	4	2	2	3,0
	Абсолютні значення, л/л					
	test30	6,93	3,81	1,26	0,26	–
	65% VO_2	4,13	3,22	1,83	0,83	–
	VO_2 max	6,84	6,09	1,24	0,24	–
	$CPVO_2$	7,02	6,25	1,25	0,25	–
С	Оцінки					
	test30	2	2	1	1	1,5
	65% VO_2	1	2	2	2	1,8
	VO_2 max	2	2	2	2	2,0
	$CPVO_2$	2	2	5	5	3,5
	Абсолютні значення, л/л					
	test30	7,09	3,76	1,29	0,29	–
	65% VO_2	5,03	3,72	1,71	0,71	–
	VO_2 max	7,16	6,44	1,27	0,27	–
	$CPVO_2$	7,69	6,92	1,22	0,22	–

що відображало суттєве зростання ефективності артеріо-венозної ланки та максимальне вилучення O_2 з артеріальної крові. У порівнянні зі спортсменами А і В, саме у спортсмена С ефективність РМК різко зростала лише за умов граничного навантаження. Показник (WqO_2 , мл/хв/Watt) відображає кількість транспортованого та спожитого O_2 відносно ватту механічної роботи (Табл. 6).

У спортсмена А показники WqO_2 були максимальними при короткотривалому максимальному навантаженні (test30 4-5 балів), що відповідало високим можливостям до O_2 забезпечення роботи максимальної інтенсивності. При 65 % VO_2 та VO_{2max} показники знижувалися до 1-3 балів, що відображає більшу кількість транспортованого та спожитого O_2 на одиницю механічної потужності. При $CPVO_2$ спостерігалось часткове відновлення ефективності, що підтверджує результати у test30.

Test30 у спортсмена В характеризувався помірними оцінками (2-3 бали), при вираженому зниженні артеріальної, венозної та інтенсивності споживання O_2 при 65 % VO_2 max (1 бал), що може свідчити про низьку потужність роботи у аеробному режимі. Найвища інтенсивність РМК спостерігалась у спортсмена В при навантаженні VO_2max (4-5 балів, $qtO_2 = 13$ мл/хв/Watt). Загалом, показники знаходились на середньому рівні,

Спортсмен С мав відносно стабільні середні показники у всіх режимах, з деяким підвищенням при короткотривалому та субмаксимальному навантаженні, що вказує на збалансовану, але менш потужну здатність системи O_2 ефективно працювати на одиницю механічної потужності.

Аналіз інтегральних балів кожного блоку дав можливість охарактеризувати динаміку РМК, що візуалізовано на рисунку 2. Спортсмен А мав переважно низькі та помірні інтегральні показники

Таблиця 6. Оцінка еквівалента поетапної O_2 – вартості відносно одиниці потужності механічної роботи
Table 6. Evaluation of the stepwise O_2 equivalent relative to a unit of mechanical work power

Спортсмени (А, В, С); тести		$WqiO_2$	$WqAO_2$	$WqaO_2$	$WqtO_2$	$WqvO_2$	Загальний бал
Оцінки							
А	test30	5	4	5	5	4	4,6
	65% VO_2	1	1	4	3	3	2,4
	VO_2 max	1	1	3	3	3	2,2
	$CPVO_2$	1	4	4	4	4	3,4
	Показники						
	test30	6,2	3,5	1,2	0,9	0,3	–
	65% VO_2	67,2	49,7	19,3	11,5	7,8	–
	VO_2 max	110,9	98,7	17,8	14,2	3,6	–
$CPVO_2$	102,1	82,7	14,5	11,7	2,8	–	
Оцінки							
В	test30	2	2	3	2	3	2,4
	65% VO_2	3	2	1	1	1	1,6
	VO_2 max	4	4	5	5	5	4,6
	$CPVO_2$	4	4	3	3	3	3,4
	Показники						
	test30	9,9	5,5	1,8	1,4	0,4	–
	65% VO_2	57,0	44,5	25,2	13,8	11,4	–
	VO_2 max	88,9	79,1	16,1	13,0	3,1	–
$CPVO_2$	86,8	77,3	15,5	12,4	3,1	–	
Оцінки							
С	test30	3	3	3	3	3	3,0
	65% VO_2	2	3	2	3	3	2,6
	VO_2 max	1	2	2	3	2	2,0
	$CPVO_2$	3	1	3	3	4	2,8
	Показники						
	test30	8,5	4,5	1,6	1,2	0,4	–
	65% VO_2	60,0	44,4	20,4	11,9	8,5	–
	VO_2 max	103,1	92,8	18,3	14,4	3,9	–
$CPVO_2$	98,7	88,9	15,7	12,8	2,9	–	

масопереносу O_2 , що відображає обмежену ефективність системи його доставки та використання. qO_2 зростала з підвищенням інтенсивності, однак залишалася на помірному рівні. Каскад парціальних тисків O_2 демонстрував обмежену здатність тканин до його вилучення. Коефіцієнти використання O_2 в легенях і утилізації в тканинах свідчили про високу ефективність РМК при короткочасних максимальних навантаженнях, яка частково знижувалася у помірних режимах.

Каскади qO_2 , PO_2 та характеристики використання O_2 відображали ефективну координацію вентиляційної, гемодинамічної та тканинної ланок. У VO_{2max} та $CPVO_2$ інтегральні показники були максимальними, що свідчило про здатність системи транспорту та споживання O_2 функціонувати на межі можливостей. У субмаксимальних режимах відзначалася певна асинхронність функціонування ланок РМК, що знижувало ефективність використання O_2 .

Спортсмен С мав проміжний та збалансований профіль. qO_2 та PO_2 були помірними, поступово підвищуючись у аеробних режимах. Характер використання O_2 в легенях і утиліза-

ції його в тканинах демонстрував залежність від типу навантаження: помірна ефективність в короткочасних тестах, покращення при інтенсивностях 65 % VO_2 та VO_{2max} , і певне зниження при граничних навантаженнях. Ефективність РМК була невисокою при роботі у короткочасних та аеробних режимах, але зростала при досягненні критичної потужності.

Висновки

При тестуванні спортсменів високого класу, що спеціалізуються у веслуванні академічному, на основі зафіксованих та розрахункових даних про параметри РМК, певним чином проведена їх статистична обробка з використанням кватильної статистики та оцінка усіх значень за методом кватильного стандартизованого оцінювання (QSGM). На основі отримання комплексного банку даних був реалізований моніторинг РМК спортсменів А, В і С.

Аналіз інтегральних показників блоків РМК дозволив виявити чіткі індивідуальні відмінності у функціонуванні системи масопереносу O_2 . Спортсмен А характеризувався переважно низькою–помірною ефективністю доставки та утилі-

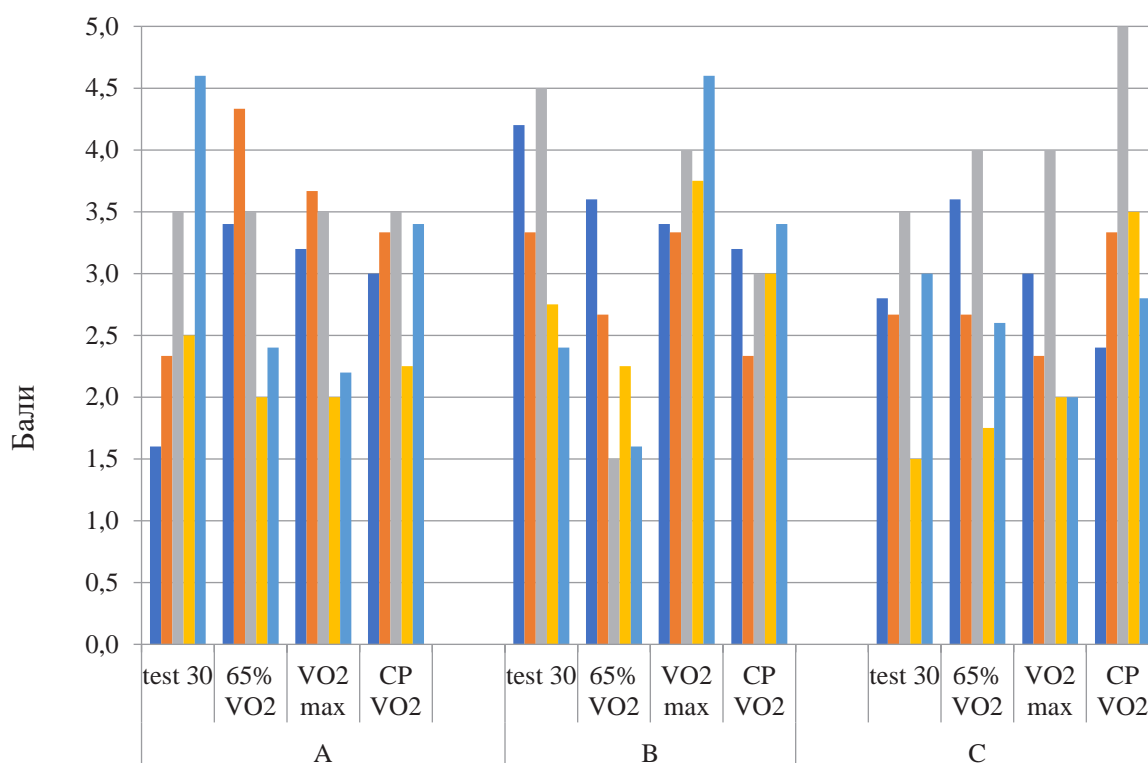


Рис. 2. Кватильне стандартизоване оцінювання показників РМК у спортсменів А, В та С при навантаженнях різної інтенсивності

Fig. 2. Quartile standardized assessment of RMC indicators in Athletes A, B, and C under loads of varying intensity

зації O_2 з обмеженнями на рівні тканин й недостатньою узгодженістю етапів його переміщення при аеробних навантаженнях. Спортсмен В мав високі та стабільні інтегральні показники, що відображало оптимальну координацію вентиляційної, гемодинамічної та тканинної складових, з максимальною реалізацією потенціалу РМК при навантаженнях з максимальною (VO_{2max}) і критичною ($CPVO_2$) інтенсивністю. Спортсмен С демонстрував збалансований проміжний профіль із помірною потужністю РМК та адаптивною зміною ефективності дифузійного переміщення O_2 залежно від інтенсивності навантаження.

Таким чином показано, що при вибірці спортсменів високої кваліфікації метод QSGM дозволяє формувати модельні норми для оцінки фізіологічних та функціональних характеристик, коректно стандартизувати і оцінювати показники без

припущень про нормальний розподіл, враховуючи внутрішню структуру вибірки. Перехід від абсолютних значень до стандартизованої бальної оцінки та агрегація показників у функціональні блоки забезпечує системний аналіз ланок вентиляції, гемодинаміки, газообміну та метаболічної відповіді. Візуалізація у вигляді таблиць, графіків та кольорового кодування квартильних зон полегшує порівняння спортсменів та створює умови для проведення моніторингу поточних функціональних можливостей спортсменів.

Перспективою для подальших досліджень є розробка стандартизації оцінки функціональних систем організму, що забезпечують РМК: дихальної і серцево-судинної систем, киснево-транспортної функції та кислотно-лужного стану крові, а також аналіз, крім режимів масопереносу в організмі O_2 , так і режимів CO_2 .

-
- AVDOVIĆ, A., JEVREMOVIĆ, V. (2022) Quantile-zone based approach to normality testing. *Mathematics*, 10(11), 1828. <https://doi.org/10.3390/math10111828>
- BETEBENNER, D. W. (2009) Norm- and criterion-referenced student growth. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 28(4), 42–51. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3992.2009.00161.x>
- BOURDON, P. C., CARDINALE, M., MURRAY, A., GASTIN, P., KARAM, E. (2017) Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(S2), 2161–2170. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2017-0208>
- DIACHENKO, O.A., FILIPPOV, M.M., ILYIN, V.M., GUO RENHAO (2023) Monitoring of functional security of special performance of qualified athletes. *Visnyk Cherkaskoho universytetu: seriia Biologichni nauky*, 1. <https://doi.org/10.31651/2076-58352018-1-2023-1-35-45>
- DIACHENKO, A.Y., WEI, Y. (2024) Suchasni kontseptsii navantazhennia krytychnoi potuzhnosti kvalifikovanykh sportsmeniv u tsyklichnykh vydakh sportu. *Sport Science Spectrum*, 2, 74–81. <https://doi.org/10.32782/spectrum/2024-2-10>
- DOMINELLI, P. B., WIGGINS, C. C., ROY, T. K., SECOMB, T. W., CURRY, T. B., JOYNER, M. J. (2021) The Oxygen Cascade During Exercise in Health and Disease. *Mayo Clinic proceedings*, 96(4), 1017–1032. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.06.063>
- FILIPPOV, M. M., DIACHENKO, A. Yu., DIACHENKO, O. A., SAMSII, R. M., KOMOLAFE, D. O., ILIN, V. M., KHMELNYTSKA, Yu. K. (2024) *Metodolohiia vyznachennia funktsionalnykh mozhlyvostei ta enerhetychnykh kharakterystyk orhanizmu sportsmeniv na osnovi analizu rezhyviv masoperenosu respiratornykh haziv i yikh vplyvu na kyslotno-luzhnyi stan krovi*. NUFVSU, Kyiv. (in Ukrainian)
- FILIPPOV, M.M., DIACHENKO, A.Y., DIACHENKO, O.A., SAMSIY, R.M., KOMOLAFE, D.O., ILYIN, V.M (2024) 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 in biology and medicine*, 2(173), 323–338. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2024-2-173-323-338>
- FILIPPOV, M.M., ILYIN, V.M., PASTUKHOVA, V.A. (2023) Fiziologichna kharakterystyka umov, shcho zabezpechuiut maksimalne spozhyvannia kysniu. *Proceedings of International scientific-practical conference "Adaptatsiini psykhoфизиологични проблеми фізичної культури і спорту"*. Natsionalnyi universytet fizychnoho vykhovannia i sportu Ukrainy, Kyiv, Cherkaskyi natsionalnyi universytet imeni Bohdana Khmelnytskoho, Cherkasy, 2023, pp. 189–190. (in Ukrainian)
- HABLER O.P., MESSMER F.W. (1997) The physiology of oxygen transport. *Transfusion Science*, 18(3), 425–435. [https://doi.org/10.1016/S0955-3886\(97\)00041-6](https://doi.org/10.1016/S0955-3886(97)00041-6)
- HERDY, A.H., RITT, L.E., STEIN, R., ARAÚJO, C.G., MILANI M., MENEGHELO, R.S., FERRAZ A.S., HOSSRI, C., ALMEIDA A.E., FERNANDES-SILVA, M.M., SERRA, S.M. (2016) Cardiopulmonary Exercise Test: Background, Applicability and Interpretation. *Arquivos brasileiros de cardiologia*, 107(5), 467–481. <https://doi.org/10.5935/abc.20160171>
- ILYIN V., FILIPPOV M., VYNOHRADOV V. (2024) Prevalence of chronic fatigue and chronic fatigue syndrome in ukrainian elite athletes: results from a population-based study. *Visnyk Cherkaskoho universytetu: seriya biologichni nauky*, 1. <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2024-1-7-17>

- KISIELIŃSKA, J., (2024) Estimation of quantiles with the exact bootstrap method. *Statistics in Transition new series*, 25(1), 145-165. <https://doi.org/10.59170/stattrans-2024-009>
- LOK, B., MCNAUGHT, C., YOUNG, K. (2016) Criterion-referenced and norm-referenced assessments: compatibility and complementarity. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 41(3), 450–465. <https://doi.org/10.1080/02602938.2015.1022136> ;
- MUJIKA I. (2017) Quantification of Training and Competition Loads in Endurance Sports: Methods and Applications. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), S29-S217. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0403>
- ORTIZ-PRADO, E., DUNN, J. F., VASCONEZ, J., CASTILLO, D. VISCOR, G. (2019) Partial pressure of oxygen in the human body: a general review. *American Journal of Blood Research*, 9(1), 1–14.
- STICKLAND, M.K., LINDINGER, M.I., OLFERT, I.M., HEIGENHAUSER, G.J., HOPKINS, S.R. (2013) Pulmonary gas exchange and acid-base balance during exercise. *Comprehensive Physiology*, 3(2), 693–739. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110048>
- PHYSIOLOGICAL TESTS FOR ELITE ATHLETES (2012) Tanner R., Gore C.J. (Eds.). Human Kinetics Publishers, Champaign, USA.
- TAYLOR, K. L., CHAPMAN, D. W., WILLIAMS, M., O’CONNOR, D. (2012) The use of integrated monitoring systems in high-performance sport. *Journal of Human Sport and Exercise*, 7(2), 252–263.
- WOLFF, C. B. (2007) Normal cardiac output, oxygen delivery and oxygen extraction. *Advances in experimental medicine and biology*, 599, 169–182. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71764-7_23

Дата першого надходження статті до видання: 04.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 15.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026