

MODES OF MASS TRANSFER OF OXYGEN IN THE BODY OF UNTRAINED TEENAGERS AND MEN DURING DYNAMIC MUSCLE ACTIVITY

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

ll.komolafe@gmail.com

The article examines factors that may limit maximal oxygen consumption (MOC) and performance in adolescent and adult men. The purpose of our study was to identify the physiological processes that limit MOC and related work capacity in adolescents and men and to compare the step-by-step speed of oxygen movement in the body with the speed of its consumption and to study the mechanisms that ensure this process. 10 untrained teenagers aged 15-16 and 18 untrained men aged 20-27 were examined using modern methods to determine oxygen consumption, oxygen transport function of blood and its components. It was found that untrained teenagers do not achieve the same level of development of maximum mechanical power as adults. Although their heart rate did not differ much ($p>0.25$), the minute volume of blood in teenagers was smaller than in adults. It was established that in adolescents, due to the incomplete development of the respiratory organs and blood circulation, the maximum rate of oxygen inflow into the lungs and alveoli, its transportation by arterial blood is lower, and the rate of transportation by mixed venous blood, on the contrary, is higher than in adults. The latter indicates that the possibility of using oxygen from arterial blood in teenagers has not yet reached the values of adult men. It is shown that with age, there is an increase in the maximum values of the oxygen effects of the respiratory and cardiac cycles, a decrease in the ventilation and hemodynamic equivalents, the efficiency of the oxygen mass transfer regimes increases, and the efficiency of the functioning of the cardiorespiratory system rises. The result of such harmonious functioning of the body's physiological systems is an increase in the efficiency ratio, a decrease in the oxygen cost of the performed mechanical work, and an improvement in physical performance.

Key words: mass transfer of oxygen and its consumption, muscle activity, oxygen transport function of blood, physical performance.

Connection of the publication with planned research works.

The results of these studies were obtained by the authors during the research work of the National University of Ukraine on Physical Education and Sport (department of medical and biological disciplines) on the topic: "Features of somatic, visceral and sensory systems in qualified athletes at various stages of training" (state registration number 0116U001614).

Introduction.

In the literature devoted to the study of maximal oxygen consumption (MOC) during muscle activity [1, 2, 3], individual changes in the system of external respiration, hemodynamics, and the respiratory function of the blood are described in detail. However, the conditions that ensure its movement in the body and timely delivery to working muscles in adolescents have not yet been sufficiently studied [4, 5, 6]. During muscle activity, the MOC depends not only on the body's need for oxygen but also on the ability of oxygen to reach the lungs, alveoli and its transport by arterial and mixed venous blood [7, 8, 9, 10, 11].

The aim of the study.

To characterize the factors and physiological mechanisms that limit MOC in the body and the related work capacity in adolescents and adult men.

Object and research methods.

The modes of oxygen mass transfer in the body (MOMT) were studied in 10 untrained teenagers aged 15-16 and 18 untrained men aged 20-27. They performed mechanical work on the cycle ergometer of the company "Monark" (Sweden) according to two schemes in the following sequence: the first scheme – 5 min x 82 W, pedalling speed (V)=30 km/h, load on the wheel (A)=1 kg; 5 min x 164 W, V=30 km/h, A=2 kg; 5 min

x 246 W, V=30 km/h, A=3 kg; 5 min x 327 W, V=40 km/h, A=3 kg; the second scheme – 5 min x 109 W, V=40 km/h, A=1 kg; 5 min x 218 W, V=40 km/h, A=2 kg; 5 min x 327 W, V=40 km/h, A=3 kg; 5 min x 410 W, V=50 km/h, A=3 kg. Untrained teenagers performed work only according to the first scheme, adults – according to both. All measurements were performed at rest before exercise (5 min in a sitting position on a bicycle ergometer) for 3 min of each step load and 1, 3, 10, and 15 min of the recovery period. A mobile ergospirometric system, "Meta Max 3B" (Cortex, Germany), was used to determine oxygen consumption (qtO₂). Blood oxygen capacity (BOC) was determined by haemoglobin concentration. Arterial blood oxygen saturation (SaO₂) was recorded. The breathing rate was calculated, and the heart rate (HR) was recorded using the "POLAR" device (Finland). The minute blood volume (MBV) was calculated using Starr's method [12]. The composition of inhaled, exhaled and alveolar air was also analyzed using the computer complex "Ergospirometric system Oxycon Pro (VIASYS Healthcare, USA-Germany, "Erich Jaeger").

Calculation of oxygen parameters, construction and analysis of cascades of the speed of oxygen movement in the body, and pO₂ parameters, were carried out according to the method of A.Z. Kolchynskaya [13]. In addition to the MOMT parameters, performance was determined by the total and specific power [14], as well as by the load execution time, by the MOC and other indicators.

Research results and their discussion.

As a result of the research, it was found that the absolute values of both the MOC and the capacity of the performed mechanical work in teenagers were lower than in adults (**table 1**). The fact that the relative values

of MOC (per kg of body weight) had no significant differences is noteworthy.

Heart rate practically did not differ much in the examined groups, although it was somewhat higher in teenagers ($p > 0.25$). MBV in adolescents was significantly lower than in adults, which can be explained by a more limited ability of the heart to increase systolic blood volume (SBV). Although the MBV in adolescents during the submaximal intensity of MOC was slightly

Table 1 – Characteristics of limit loads performed by teenagers and men

Groups	Maximum oxygen consumption		Maximum power of mechanical work (watts)
	l/min	ml/kg/min	
Teenagers	2260±258	39,9±2,45	164
Men	2700±146	37,2±1,82	250

Table 2 – Indicators of external respiration, hemodynamics and efficiency of the MOMT in the body of untrained adolescents and men with MOC

Groups	Minute respiratory volume (MRV) BTPS, ml/min	Alveolar ventilation, (AV)	AV/MRV, %	Breathing rate min., (f)	Ventilation equivalent (VE)	Oxygen effect of the respiratory cycle, ml/1 cycle	MBV, ml/min	SBV, ml	HR beats/min	HE	Oxygen effect of the heart cycle, ml/1 cycle
Teenagers	51200	37850	74	33	27,8	64,2	18887	105,9	180	9,52	11,2
Men	± 4146	± 2281	±2,1	±2,8	±1,93	±6,3	± 487	±5,14	6,8	±0,19	±0,59

higher than in men ($p > 0.25$), during MOC, it no longer increased, and in men, it reached 20-21 l/min (table 2).

When carrying out loads that are 90% of the MOC, each litre of consumed oxygen was extracted in teenagers from 27.8±1.93 l of air ventilated through the lungs (VE) and from 9.52 l of blood washing the tissues (HE); in adults – from 27.9±1.59 l and 9.41±0.51 l, respectively. Thus, in teenagers, 1.69±0.04 times more oxygen was delivered to tissues with arterial blood than was consumed; in adults – 1.56±0.08 times. The rate of oxygen transport by mixed venous blood in teenagers was 67±3.9% of oxygen consumption, and in adults – 57±3.7%.

The coefficient of utilization of oxygen by working tissues from arterial blood in adolescents did not reach the values of adults (59.9±3.3% and 63.2±2.9%, respectively). At the same time, the arterio-venous oxygen difference (AVD) was only 11.6 % in teenagers, while it was almost 13 % in adults.

With MOC, the partial pressure of oxygen (fig.) in the alveolar air ($p_{A O_2}$) was slightly higher in adolescents. Higher p_{O_2} in them is obviously a consequence of lower utilization of lung oxygen. Thus, in untrained teenagers, 18.5±1.21% of the lung was used for MOC, and in adults – 20.62±0.09%.

As evidenced by the presented data, the quality of regulation of the oxygen transport function of the blood and MOMT as a whole improves with age. In particular, quantitative and structural changes in the alveolar-capillary membrane, which increases their overall diffusion surface for respiratory gases, are essential for increasing the oxygen utilization rate in the lungs. Furthermore, for its disposal from arterial blood, the rearrangements of the vascular bed, quantitative changes in the muscles' capillary bed, and the activity of oxidative enzymes, etc., are of great importance [15]. Then, as research by several authors [16, 17, 18, 19, 20] showed, myoglobin, which increases with age, is essential for transferring oxygen from arterial blood to working muscles.

As a result of the mentioned factors, in the process of age development, there is an increase in the oxygen effect of the respiratory and cardiac cycles, a decrease in the ventilation and hemodynamic equivalents, and

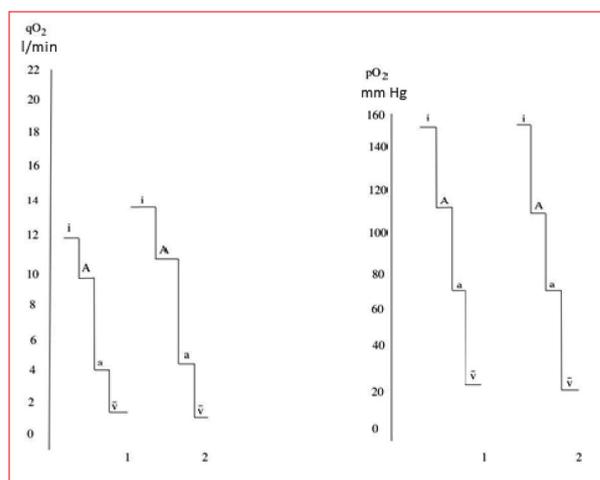


Figure – Cascades of the speed (qO₂) of oxygen entering the lungs (i), alveoli (A), its transportation by arterial (a) and mixed venous blood (v̄) and, accordingly, at these stages, the cascades of oxygen partial pressures (pO₂) in adolescents (1) and adults (2).

the efficiency and economy of the MOMT increases, which, along with other factors, leads to an increase in the efficiency factor, a decrease in the oxygen value of the performed mechanical work and an increase working capacity.

Conclusions.

- MOMT of teenagers during the performance of muscular work, accompanied by MOC, are characterized by a lower speed of step-by-step delivery of oxygen than in adults, their low efficiency and lower efficiency of the cardio-respiratory system.

- With age, when working with MOC, the arterio-venous difference in oxygen, the coefficient of oxygen utilization in the lungs and the coefficient of its utilization by tissues from the blood increases, which leads to a decrease in the content of oxygen and pO₂ in mixed venous blood.

- Less efficiency and cost-effectiveness of MOMT, especially during the recovery period, indicate the worse quality of MOMT regulation in adolescents.

Prospects for further research.

A more detailed study of the oxygen transport function of blood may be the subject of further research.

РЕЖИМИ МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ КИСНЮ В ОРГАНІЗМІ НЕТРЕНОВАНИХ ПІДЛІТКІВ І ЧОЛОВІКІВ ПРИ М'ЯЗОВІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ДИНАМІЧНОГО ХАРАКТЕРУ

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

ll.komolafe@gmail.com

В статті розглядаються фактори, які можуть обмежувати максимальне споживання кисню (МСК) та працездатність у підлітків та дорослих чоловіків. Метою нашого дослідження було виявити фізіологічні процеси, що обмежують МСК і зв'язану з ним працездатність у підлітків і чоловіків та порівняти поетапну швидкість пересування кисню в організмі зі швидкістю його споживання та вивчити механізми, що забезпечують цей процес. Обстежено 10 нетренованих підлітків 15-16 років та 18 нетренованих чоловіків 20-27 років за допомогою сучасних методів для визначення споживання кисню, киснево-транспортної функції крові та її компонентів. Було виявлено, що нетреновані підлітки не досягають такого як дорослі розв'язку максимальної потужності механічної роботи. Хоча частота серцевих скорочень у них мало відрізнялася ($p > 0,25$), хвилинний об'єм крові у підлітків був менший, ніж у дорослих. Встановлено, що у підлітків, у зв'язку з неповним розвитком органів дихання та кровообігу, максимальна швидкість надходження кисню в легені, альвеоли, транспортування його артеріальною кров'ю менша, а швидкість транспортування змішаною венозною кров'ю, навпаки більша, ніж у дорослих. Останнє свідчить про те, що можливості використання кисню із артеріальної крові у підлітків ще не досягають значень дорослих чоловіків. Показано, що з віком відбувається зростання максимальних значень кисневих ефектів дихального і серцевого циклів, зниження вентиляційного і гемодинамічного еквівалентів, посилюється ефективність режимів масоперенесення кисню та підвищується економічність функціонування кардіореспіраторної системи. Результатом такого злагодженого функціонування фізіологічних систем організму є підвищення коефіцієнта корисної дії, зниження кисневої вартості виконуваної механічної роботи та покращення фізичної працездатності.

Ключові слова: масоперенесення кисню та його споживання, м'язова діяльність, киснево-транспортна функція крові, фізична працездатність.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Результати даних досліджень отримані авторами при виконанні науково-дослідної роботи НУФВСУ (кафедра медико-біологічних дисциплін) на тему: «Особливості соматичних, вісцеральних і сенсорних систем у кваліфікованих спортсменів на різних етапах підготовки» (номер державної реєстрації 0116U001614).

Вступ.

В літературі, присвяченій дослідженню максимального споживання кисню (МСК) при м'язовій діяльності [1, 2, 3] детально описані окремі зміни в системі зовнішнього дихання, гемодинаміки, дихальної функції крові. Проте умови, що забезпечують при цьому його пересування в організмі і своєчасну доставку до працюючих м'язів у підлітків вивчені ще недостатньо [4, 5, 6]. При м'язовій діяльності МСК залежить не тільки від потреби організму в кисні, але й від можливостей надходження кисню до легень, альвеол, транспорту його артеріальною та змішаною венозною кров'ю [7, 8, 9, 10, 11].

Мета дослідження.

Охарактеризувати фактори і фізіологічні механізми, що обмежують МСК в організмі і зв'язану з цим працездатність у підлітків і дорослих чоловіків.

Об'єкт і методи дослідження.

Вивчали режими масоперенесення кисню в організмі (РМК) у 10 нетренованих підлітків 15-16 років та 18 нетренованих чоловіків 20-27 років. Вони виконували механічну роботу на велоергометрі фірми «Монарк» (Швеція) за двома схемами у такій

послідовності: перша схема – 5 хв х 82 вт швидкість педалювання (V) = 30 км/год, навантаження на коло (А)=1 кг; 5 хв х 164 вт, $V=30$ км/год, А=2 кг; 5 хв х 246 вт, $V=30$ км/год, А=3 кг; 5 хв х 327 вт, $V=40$ км/год, А=3 кг; друга схема – 5 хв х 109 вт, $V=40$ км/год, А=1 кг; 5 хв х 218 вт, $V=40$ км/год, А=2 кг; 5 хв х 327 вт, $V=40$ км/год, А=3 кг; 5 хв х 410 вт, $V=50$ км/год, А=3 кг. Нетреновані підлітки виконували роботу тільки за першою схемою, дорослі – за двома. Всі вимірювання проводились у спокої до навантаження (5 хв в положенні сидячи на велоергометрі), на 3 хв навантаження кожної сходитки і на 1, 3, 10 і 15 хв відновного періоду. Для визначення споживання кисню (qtO_2) застосовували мобільну ергоспірометричну систему «Meta Max 3В» (Cortex, Німеччина). Кисневу ємкість крові (КЕК) визначали за концентрацією гемоглобіну. Реєстрували насичення артеріальної крові киснем (SaO_2). Підраховували частоту дихання та фіксували частоту серцевих скорочень (ЧСС) за допомогою прилада «POLAR» (Фінляндія). Хвилинний об'єм крові (ХОК) розраховували за методом Старра [12]. Склад вдихуваного, видихуваного та альвеолярного повітря аналізували також з допомогою комп'ютерного комплексу «Ергоспірометрична система Oxycon Pro (VIASYS Healthcare, США-Німеччина, «Erich Jaeger»).

Обчислення кисневих параметрів, побудування і аналіз каскадів швидкості пересування кисню в організм, а також параметрів pO_2 здійснювали за методом А.З. Колчинської [13]. Крім параметрів РМК визначали працездатність за загальною і питомою потужністю [14], також за часом виконання навантаження, за МСК та іншими показниками.

Результати дослідження та їх обговорення.

В результаті проведеного дослідження було виявлено, що абсолютні значення як МСК, так і потужності виконуваної механічної роботи у підлітків були меншими, ніж у дорослих (табл. 1). Звертає на себе той факт, що відносні значення МСК (на кг маси тіла) не мали достовірних відмінностей.

ЧСС практично мало відрізнялося у обстежуваних груп, хоча у підлітків вона недостовірно була дещо більшою ($p > 0,25$). ХОК у підлітків був

Таблиця 1 – Характеристики граничних навантажень, виконуваних підлітками та чоловіками

Групи	Максимальне споживання кисню		Максимальна потужність механічної роботи (вати)
	л/хв	мл/кг/хв	
Підлітки	2260±258	39,9±2,45	164
Чоловіки	2700±146	37,2±1,82	250

Таблиця 2 – Показники зовнішнього дихання, гемодинаміки, економічності РМК в організмі нетрениваних підлітків і чоловіків при МСК

Групи	Хвилинний об'єм дихання (ХОД) ВTPS, мл/хв	Альвеолярна вентиляція, (АВ)	АВ/ХОД, %	Частота дихань хв., (f)	Вентиляційний еквівалент (VE)	Кисневий ефект дих. циклу, мл/1 цикл	ХОК, мл/хв	СОК, мл	ЧСС уд/хв	HE	Кисневий ефект серц. циклу, мл/1 цикл
Підлітки	51200	37850	74	33	27,8	64,2	18887	105,9	180	9,52	11,2
Чоловіки	± 4146	± 2281	±2,1	±2,8	±1,93	±6,3	± 487	±5,14	6,8	±0,19	±0,59

достовірно менший, ніж у дорослих, що можна пояснити більш обмеженою здатністю серця збільшувати систолічний об'єм крові (СОК). Незважаючи на те, що ХОК у підлітків при навантаженні субмаксимальної інтенсивності МСК був дещо вище, ніж у чоловіків ($p > 0,25$), при МСК він вже не збільшувався, а у чоловіків досягав 20-21 л/хв (табл. 2).

При виконанні навантажень, що становлять 90% МСК, кожен літр спожитого кисню вилучався у підлітків з 27,8±1,93 л вентилязованого через легені повітря (VE) та з 9,52 л крові, що омиває тканини (ГЕ); у дорослих – з 27,9±1,59 л і з 9,41±0,51 л відповідно. Так, у підлітків до тканин з артеріальною кров'ю приносилось в 1,69±0,04 рази більше кисню, ніж його споживалося; у дорослих – в 1,56±0,08 рази. Швидкість транспорту кисню змішаною венозною кров'ю у підлітків становила 67±3,9% від швидкості споживання кисню, у дорослих – 57±3,7%.

Коефіцієнт утилізації кисню працюючими тканинами з артеріальної крові у підлітків не досягав значень дорослих (59,9±3,3% і 63,2±2,9% відповідно). Артеріо-венозна різниця за киснем (АВР) при цьому у підлітків складала лише 11,6 об %, тоді як у дорослих – майже 13 об %.

При МСК парціальний тиск кисню (рис.) в альвеолярному повітрі ($p_A O_2$) у підлітків виявився дещо вищим. Більш високе pO_2 в них, очевидно, є наслідком меншої утилізації кисню з легень. Так, у нетрениваних підлітків з легень використовувалося при МСК 18,5±1,21 %, у дорослих – 20,62±0,09%.

Як свідчать представлені дані, якість регулювання киснево-транспортної функції крові і РМК в цілому з віком удосконалюється. Зокрема, для збільшення коефіцієнта використання кисню в легенях мають значення кількісні і структурні перебудови альвеолярно-капілярної мембрани, що підвищує їх загальну дифузійну поверхню для респіраторних газів, а для його утилізації з артеріальної крові велике значення мають перебудови судинного русла, кількісні зміни капілярного ложа в м'язах, а також активності окисних ферментів, тощо [15]. Потім, як показали дослідження ряду авторів [16, 17, 18, 19, 20], велике значення для переходу кисню з артеріальної крові

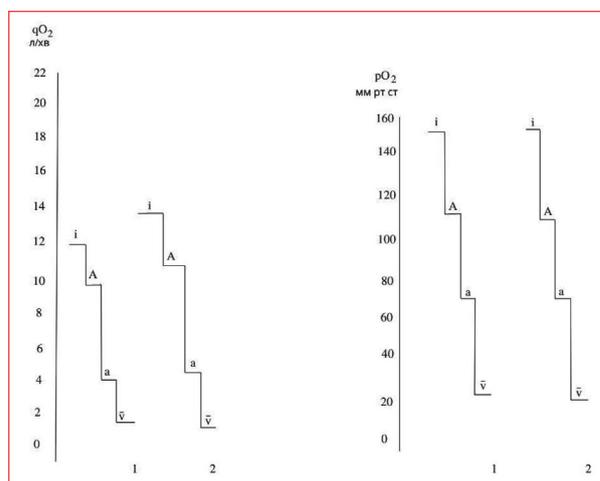


Рисунок – Каскади швидкості (qO_2) надходження кисню в легені (i), альвеоли (A), транспортування його артеріальною (a) і змішаною венозною кров'ю (v) та відповідно на цих етапах каскади парціальних тисків кисню (pO_2) у підлітків (1) і дорослих (2).

до працюючих м'язів грає кількість міоглобіну, яка з віком збільшується.

В результаті згаданих факторів, у процесі вікового розвитку відбувається збільшення кисневого ефекту дихального і серцевого циклів, зниження вентиляційного і гемодинамічного еквівалентів, посилюється ефективність і економічність РМК, що поряд з іншими факторами, зумовлює збільшення коефіцієнта корисної дії, зниження кисневої вартості виконуваної механічної роботи та підвищення працездатності.

Висновки.

РМК підлітків при виконанні м'язової роботи, яка супроводжується МСК, характеризуються меншою швидкістю поетапної доставки кисню, ніж у дорослих, невисокою їх ефективністю і більш низькою економічністю кардіо-респіраторної системи.

З віком при роботі з МСК збільшується артеріо-венозна різниця за киснем, коефіцієнт використання кисню в легенях та коефіцієнт його утилізації ткани-

нами з крові, що призводить до зменшення вмісту кисню і pO_2 в змішаній венозній крові.

Менша ефективність і економічність РМК, і, особливо, перебіг відновного періоду вказують на гіршу якість регулювання РМК у підлітків.

Перспективи подальших досліджень.

Більш детальне вивчення киснево-транспортної функції крові може бути предметом подальших досліджень.

References / Література

1. Christensen PM, Jacobs RA, Bonne T, Flück D, Bangsbo J, Lundby C. A short period of high-intensity interval training improves skeletal muscle mitochondrial function and pulmonary oxygen uptake kinetics. *J Appl Physiol.* 2016 Jun 1;120(11):1319-27. DOI: [10.1152/jappphysiol.00115.2015](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00115.2015).
2. Ji LL, Yeo D, Kang C, Zhang T. The role of mitochondria in redox signaling of muscle homeostasis. *J Sport Health Sci.* 2020 Sep;9(5):386-393. DOI: [10.1016/j.jshs.2020.01.001](https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.01.001).
3. Montero D, Lundby C. Refuting the myth of non-response to exercise training: 'non-responders' do respond to higher dose of training. *J Physiol.* 2017 Jun 1;595(11):3377-3387. DOI: [10.1113/JP273480](https://doi.org/10.1113/JP273480).
4. Mollica JP, Dutka TL, Merry TL, Lamboley CR, McConell GK, McKenna MJ, et al. S-glutathionylation of troponin I (fast) increases contractile apparatus Ca^{2+} sensitivity in fast-twitch muscle fibres of rats and humans. *J Physiol.* 2012 Mar 15;590(6):1443-63. DOI: [10.1113/jphysiol.2011.224535](https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.224535).
5. Egan B, Zierath JR. Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. *Cell Metab.* 2013 Feb 5;17(2):162-84. DOI: [10.1016/j.cmet.2012.12.012](https://doi.org/10.1016/j.cmet.2012.12.012).
6. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. *Redox Biol.* 2015;4:180-3. DOI: [10.1016/j.redox.2015.01.002](https://doi.org/10.1016/j.redox.2015.01.002).
7. Cardinale DA, Ekblom B. Hyperoxia for performance and training. *J Sports Sci.* 2018 Jul;36(13):1515-1522. DOI: [10.1080/02640414.2017.1398893](https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1398893).
8. Stickland MK, Lindinger MI, Olfert IM, Heigenhauser GJ, Hopkins SR. Pulmonary gas exchange and acid-base balance during exercise. *Compr Physiol.* 2013 Apr;3(2):693-739. DOI: [10.1002/cphy.c110048](https://doi.org/10.1002/cphy.c110048).
9. Kasper K. Sports Training Principles. *Curr Sports Med Rep.* 2019 Apr;18(4):95-96. DOI: [10.1249/JSR.0000000000000576](https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000576).
10. Giada F, Biffi A, Agostoni P, Anedda A, Belardinelli R, Carlon R, et al. Exercise prescription for the prevention and treatment of cardiovascular diseases: part I. *J Cardiovasc Med (Hagerstown).* 2008 May;9(5):529-44. DOI: [10.2459/JCM.0b013e3282f7ca77](https://doi.org/10.2459/JCM.0b013e3282f7ca77).
11. Hepple RT. The role of O_2 supply in muscle fatigue. *Can J Appl Physiol.* 2002 Feb;27(1):56-69. DOI: [10.1139/h02-004](https://doi.org/10.1139/h02-004).
12. Starr I. Clinical Tests of the Simple Method of Estimating Cardiac Stroke Volume from Blood Pressure and Age. *Circulation.* 1954;9(5):664-681. DOI: [10.1161/01.cir.9.5.664](https://doi.org/10.1161/01.cir.9.5.664).
13. Kolchinskaya AZ. Kislородnye rezhimy organizma. rebenka i podrostka. Kiev: Zdorov'ya; 1973. 320 s. [in Ukrainian].
14. Dexheimer JD, Schroeder ET, Sawyer BJ, Pettitt RW, Aguinaldo AL, Torrence WA. Physiological Performance Measures as Indicators of Performance. *Sports (Basel).* 2019 Apr 22;7(4):93. DOI: [10.3390/sports7040093](https://doi.org/10.3390/sports7040093).
15. Armstrong N, van William M. Pediatric Exercise Science and Medicine. *J Sports Sci Med.* 2009 Dec 1;8(4):716.
16. Gros G, Wittenberg BA, Jue T. Myoglobin's old and new clothes: from molecular structure to function in living cells. *J Exp Biol.* 2010 Aug 15;213(Pt 16):2713-25. DOI: [10.1242/jeb.043075](https://doi.org/10.1242/jeb.043075).
17. Zorrilla S, Hink MA, Visser AJ, Lillo MP. Translational and rotational motions of proteins in a protein crowded environment. *Biophys Chem.* 2007 Feb;125(2-3):298-305. DOI: [10.1016/j.bpc.2006.09.003](https://doi.org/10.1016/j.bpc.2006.09.003).
18. Tang JE, Phillips SM. Maximizing muscle protein anabolism: the role of protein quality. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2009 Jan;12(1):66-71. DOI: [10.1097/MCO.0b013e32831cef75](https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e32831cef75).
19. Narici MV, Maffulli N. Sarcopenia: characteristics, mechanisms and functional significance. *Br Med Bull.* 2010;95:139-59. DOI: [10.1093/bmb/ldq008](https://doi.org/10.1093/bmb/ldq008).
20. Takakura H, Furuichi Y, Yamada T, Jue T, Ojino M, Hashimoto T, et al. Endurance training facilitates myoglobin desaturation during muscle contraction in rat skeletal muscle. *Sci Rep.* 2015 Mar 24;5:9403. DOI: [10.1038/srep09403](https://doi.org/10.1038/srep09403).

РЕЖИМИ МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ КИСНЮ В ОРГАНІЗМІ НЕТРЕНОВАНИХ ПІДЛІТКІВ І ЧОЛОВІКІВ ПРИ М'ЯЗОВІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ДИНАМІЧНОГО ХАРАКТЕРУ

Комолафе Д. О., Філіппов М. М.

Резюме. На основі комплексного аналізу режимів масоперенесення кисню (РМК) в організмі нетренираних підлітків і дорослих чоловіків розглядаються фізіологічні процеси і фактори, які можуть обмежувати максимальне споживання кисню (МСК) та фізичну працездатність. Метою дослідження було охарактеризувати фізіологічні механізми, що обмежують МСК і зв'язану з ним працездатність у підлітків і чоловіків та порівняти характеристики РМК в організмі зі швидкістю його споживання та вивчити механізми, що забезпечують цей процес. Обстежено 10 нетренираних підлітків 15-16 років та 18 нетренираних чоловіків 20-27 років за допомогою сучасних методів для визначення споживання кисню, киснево-транспортної функції крові та її компонентів. Показано, що РМК у нетренираних підлітків не досягають таких як у дорослих чоловіків максимальних значень. Це, у свою чергу, обмежує можливості досягнення максимальної потужності механічної роботи, яку спостерігали у дорослих. Неможливість збільшення хвилинного об'єму крові (ХОК) у підлітків до таких значень, як у дорослих, утруднює постачання кисню до працюючих тканин. Причому, максимальний ХОК не досягає у підлітків значень дорослих за рахунок неможливості збільшення систолічного об'єму крові, хоча частота серцевих скорочень у них мало відрізнялася ($p > 0,25$). Встановлено, що у процесі вікового розвитку відбувається збільшення кисневих ефектів дихального і серцевого циклів, знижується значення вентиляційного і гемодинамічного еквівалентів, посилюється ефективність РМК та зростає економічність функціонування кардіореспіраторної системи. З віком при роботі з МСК підвищуються артеріо-венозна різниця за киснем та коефіцієнти його використання в легенях та утилізації тканинами з крові, що призводить до зменшення вмісту кисню і pO_2 в змішаній венозній крові. Менша ефективність і економічність РМК, і, особливо, перебіг відновного періоду вказують на гіршу якість регулювання РМК у підлітків.

Завдяки злагодженому функціонуванню фізіологічних систем організму у дорослих більшим виявляється коефіцієнт корисної дії, знижується киснева вартість виконуваної механічної роботи та підвищується фізична працездатність.

Ключові слова: кисень, максимальне споживання кисню, киснево-транспортна функція крові.

MODES OF MASS TRANSFER OF OXYGEN IN THE BODY OF UNTRAINED TEENAGERS AND MEN DURING DYNAMIC MUSCLE ACTIVITY**Komolafe D. O., Filippov M. M.**

Abstract. Physiological processes and factors that can limit the maximum oxygen consumption (MOC) and physical performance are considered on the basis of a complex analysis of the modes of oxygen mass transfer (OMT) in the body of untrained teenagers and adult men. The purpose of the study was to characterize the physiological mechanisms that limit MOC and related work capacity in teenagers and adult men, to compare the characteristics of OMT in the body with the rate of its consumption, and to study the mechanisms that ensure this process. 10 untrained teenagers aged 15-16 and 18 untrained adult men aged 20-27 were examined using modern methods to determine oxygen consumption, oxygen transport function of blood and its components. It is shown that the OMT in untrained teenagers do not reach the same maximum values as in adult men. This, in turn, limits the ability to achieve the maximum power of mechanical work observed in adults. The impossibility of increasing the minute volume of blood (MBV) in teenagers to such values as in adults makes it difficult to supply oxygen to working tissues. Moreover, the maximum IOC does not reach the values of adults in adolescents due to the impossibility of increasing the systolic blood volume, although their heart rate did not differ much ($p>0.25$). It has been established that in the process of age development there is an increase in the oxygen effects of the respiratory and cardiac cycles, the values of ventilation and hemodynamic equivalents decrease, the efficiency of the OMT increases and the efficiency of the functioning of the cardiorespiratory system increases. At age 3, when working with MOCs, the arterio-venous difference in oxygen and the coefficients of its use in the lungs and utilization by tissues from the blood increase, which leads to a decrease in the content of oxygen and pO_2 in mixed venous blood. Less efficiency and cost-effectiveness of OMT, and, especially, the course of the recovery period indicate a worse quality of OMT regulation in adolescents. Thanks to the coordinated functioning of the body's physiological systems, the efficiency ratio is higher in adults, the oxygen cost of the performed mechanical work is reduced, and physical capacity is increased.

Key words: oxygen, maximum oxygen consumption, oxygen transport function of blood.

ORCID and contribution / ORCID кожного автора та його внесок до статті:Komolafe D. O.: [0000-0003-0279-0512](https://orcid.org/0000-0003-0279-0512)^{ABDE}Filippov M. M.: [000-0001-5096-7445](https://orcid.org/000-0001-5096-7445)^{ABDEF}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

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

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Komolafe Damilola Oluvaseiyivna / Комолафе Дамілола Олувасеїївна

National University of Ukraine on Physical Education and Sport / Національний університет фізичного виховання і спорту України

Ukraine, 03150, Kyiv, 1 Fizkultury str. / Адреса: Україна, 03150 м. Київ, вул. Фізкультури 1

Tel.: +380931357250 / Тел.: +380931357250

E-mail: ll.komolafe@gmail.com

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

*Received 24.08.2022 / Стаття надійшла 24.08.2022 року**Accepted 03.02.2023 / Стаття прийнята до друку 03.02.2023 року*