

УДК 796.012.412.4:612.216.2-057.875

*Логинов С. И., Кинтюхин А. С.,
Мальков М. Н., Логвинова С. Г.*
*Loginov S. I., Kintyukhin A. S.,
Malkov M. N., Logvinova S. G.*

**ПОКАЗАТЕЛЬ ЛЕГОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ
МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАСХОДА ЭНЕРГИИ
ВО ВРЕМЯ ФИЗКУЛЬТУРНЫХ ЗАНЯТИЙ СТУДЕНТОВ***

**PULMONARY VENTILATION INDEX
AS AN ENERGY CONSUMPTION INDICATOR AT PE CLASSES**

С участием студентов основной медицинской группы здоровья ($n = 25$, в том числе 12 мужчин и 13 женщин в возрасте $22,1 \pm 2,6$ лет) изучены закономерности влияния ходьбы на тредмиле со скоростью 2–7 км/ч по 5 мин на каждой скорости на показатели кардиореспираторной системы. Установлено, что показатель легочной вентиляции (V_e) при разных скоростях ходьбы на тредмиле имеет более тесную связь с потреблением кислорода (VO_2) ($r = 0,98$; $p = 0,0000$), чем с ЧСС ($r = 0,5$; $p = 0,0000$), что позволяет рекомендовать зависимость VO_2 от (V_e) для оценки расхода энергии во время занятий в группах студентов.

The effect of treadmill walks at 2–7 km/h on the students' cardiorespiratory system properties ($n = 25$, 12 males and 13 females, age $22,1 \pm 2,6$ years) has been studied. It is shown that V_e -index at different walking speeds on the treadmill closely correlates to VO_2 ($r = 0,98$; $p = 0,0000$) than to the heart rate ($r = 0,5$; $p = 0,0000$). We can recommend the VO_2 vs (V_e) relation as an energy consumption indicator in PE classes.

Ключевые слова: дозированная ходьба, тредмил, ЧСС, потребление O_2 , легочная вентиляция, уравнения линейной регрессии, студенты.

Keywords: walking, oxygen consumption, lung ventilation (V_e), HR, linear regression equation, students.

Побудительным моментом к написанию данной работы явился давно известный научный факт, что величина легочной вентиляции (V_e) закономерно изменяется во время физической нагрузки [3] и может применяться как косвенный показатель расхода энергии (РЭ) при физической активности [11]. В 1967 г. шведские физиологи В. Saltin и Р.-О. Astrand предложили формулу $VO_2 = V_e(FiO_2 - FeO_2)$, где VO_2 – потребление кислорода, FiO_2 – концентрация O_2 во вдыхаемом воздухе, а FeO_2 – концентрация O_2 в выдыхаемом воздухе [11]. А. М. Fair и К. Montgomery в 2009 г. показали, что при физической нагрузке умеренной интенсивности, если объем легочной вентиляции не больше 50 л/мин, VO_2 человека прямо пропорционален величине его легочной вентиляции (V_e) [7]. Возникла идея, во-первых, проверить сохраняются ли эти закономерности по-прежнему или нуждаются в количественных поправках, обусловленных изменением условий окружающей среды, образа жизни и беспрецедентным снижением уровня физической активности человека [1; 2]. Во-вторых, в оценке расхода энергии на выполнение физических упражнений нельзя или заменить использование дорогостоящей аппаратуры для измерения потребления кислорода более простым методом с применением спирометра для определения величины легочной вентиляции. Экспериментальная проверка этих предположений и явилась **целью** данной работы.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ и Департамента образования и молодежной политики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, проект № 16-16-86006.

Материал и методы исследования. В исследовании приняли участие студенты и магистранты Сургутского государственного университета в возрасте $22,1 \pm 2,6$ лет, в том числе 12 юношей и 13 девушек, всего 25 человек. Все участники относились к основной группе здоровья, не имели противопоказаний к тестам с физической нагрузкой и до начала исследования добровольно подписали информированное согласие. Независимой переменной являлась ходьба на тредмиле фирмы Tопео со нарастающей скоростью 2, 3, 4, 5, 6, 7 км/ч по 5 мин на каждой скорости. Общая продолжительность испытания – 30 мин. Для определения параметров дыхания и основного обмена использовали метабологграф Fitmate Pro фирмы COSMED (Италия). В качестве зависимых переменных регистрировали частоту дыхания (ЧД, раз/мин), вентиляцию легких (ВЛ, л/мин), потребление кислорода (ПО₂, мл/мин и ПО₂ мл/мин/кг), частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин), концентрацию кислорода в выдыхаемом воздухе (КО₂, %). Данные ПО₂, ВЛ и ЧСС усредняли каждые 15 с, передавали на персональный компьютер для отображения и сохраняли во внутренней базе данных для последующего точного анализа. До эксперимента у испытуемых измеряли длину ноги (см), длину тела (см) и массу тела (кг). Статистическую обработку проводили с помощью пакета программ Statistica, v.10 (StatSoft, США). Предварительно оценивали нормальность распределения. Рассчитывали среднее арифметическое ($\bar{X}$), среднеквадратическое отклонение (SD), 0,95 доверительный интервал ($\pm 0,95$ ДИ), проводили корреляционный и регрессионный анализы. Для оценки достоверности наблюдаемых различий использовали двусторонний t -test для связанных и не связанных групп, а также непараметрический критерий Уилкоксона, Манна, Уитни при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты исследования. В исследуемой выборочной совокупности студентов юноши имели существенно большие габаритные размеры, но не отличались от девушек по возрасту (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика выборочной совокупности студентов ($n = 25$) ($\bar{X} \pm SD$)

Показатель	Юноши, $n = 12$	Девушки, $n = 13$	Все, $n = 25$
Возраст, лет	$22,0 \pm 5,8$	$22,2 \pm 2,5$	$22,1 \pm 4,3$
Длина тела, см	$179,8 \pm 9,5$	$164,2 \pm 3,8^*$	$171,6 \pm 10,6$
Масса тела, кг	$76,1 \pm 11,3$	$57,2 \pm 7,7^*$	$66,3 \pm 13,4$
ИМТ, кг/м ²	$23,6 \pm 3,1$	$21,2 \pm 2,3^*$	$22,3 \pm 2,9$
Длина ноги, см	$91,9 \pm 5,4$	$85,6 \pm 4,9^*$	$88,5 \pm 5,9$

Примечание: * – уровень значимости различий между показателями юношей и девушек, $p < 0,05$.

По мере увеличения скорости ходьбы на тредмиле величина потребления кислорода достоверно (t -test, $p < 0,05$) возрастала уже на скорости 3 км/ч. При ходьбе со скоростью 4 км/ч достоверно возрастали ЧСС, ЛВ и ПО₂, частота дыхания увеличивалась существенно только при скорости ходьбы 5 км/ч, концентрация кислорода в выдыхаемом воздухе вообще достоверно не изменялась (табл. 2).

Таблица 2

Значения показателей кардиореспираторной системы при разной скорости ходьбы на тредмиле ($n = 25$) ($\bar{X} \pm SD$)

Показатель	Скорость ходьбы, км/ч					
	2	3	4	5	6	7
ЧД, экс./мин	$21,8 \pm 4,11$	$20,4 \pm 4,35$	$23,3 \pm 4,67$	$24,4 \pm 4,43^*$	$26,5 \pm 4,94^*$	$29,8 \pm 5,7^*$
ЧСС, уд./мин	$97,2 \pm 11,5$	$101,9 \pm 11,6$	$107,8 \pm 11,8^*$	$114,7 \pm 12,7^*$	$127,5 \pm 15,9$	$146,5 \pm 18,1^*$
ЛВ, л/мин	$17,1 \pm 3,9$	$20,4 \pm 4,35$	$23,6 \pm 4,9^*$	$27,4 \pm 5,36^*$	$33,1 \pm 6,04^*$	$43,1 \pm 8,3^*$
ПО ₂ , мл/мин	658 ± 179	$783 \pm 197^*$	$913 \pm 220^*$	$1075 \pm 250^*$	$1248 \pm 367^*$	$1610 \pm 348^*$
ПО ₂ , мл/кг/мин	$10,0 \pm 1,48$	$11,9 \pm 1,45^*$	$13,9 \pm 1,45^*$	$16,4 \pm 1,58^*$	$19,3 \pm 1,93^*$	$24,6 \pm 2,63^*$
КО ₂ , %	$16,3 \pm 0,43$	$16,3 \pm 0,46$	$16,3 \pm 0,45$	$16,2 \pm 0,42$	$16,1 \pm 0,4$	$16,3 \pm 0,45$

Примечание: * – уровень значимости $p < 0,05$ между данными на скорости 2 км/ч с данными при всех остальных скоростях ходьбы на тредмиле.

Величина относительного потребления кислорода у юношей и девушек коррелировала с частотой сердечных сокращений ($r = 0,7$; $p = 0,0000$). Уравнение зависимости величины потребления кислорода от частоты сердечных сокращений у мужчин и женщин имеет вид: $VO_2 = -10,2 + 0,2 \text{ ЧСС}$ и $VO_2 = -3,04 + 0,2 \text{ ЧСС}$, соответственно, где VO_2 – величина относительного потребления кислорода (мл/кг/мин) и $-10,2$ и $0,2$ – эмпирические коэффициенты (рис. 1). Также выявлена четкая зависимость величины легочной вентиляции (Ve) от частоты сердечных сокращений. Зависимость имеет вид: $Ve = 4,272 + 0,2086 \text{ ЧСС}$ у юношей и $Ve = 1,8346 + 0,2242 \text{ ЧСС}$ у девушек ($r = 0,5$; $p = 0,0000$) (рис. 2).

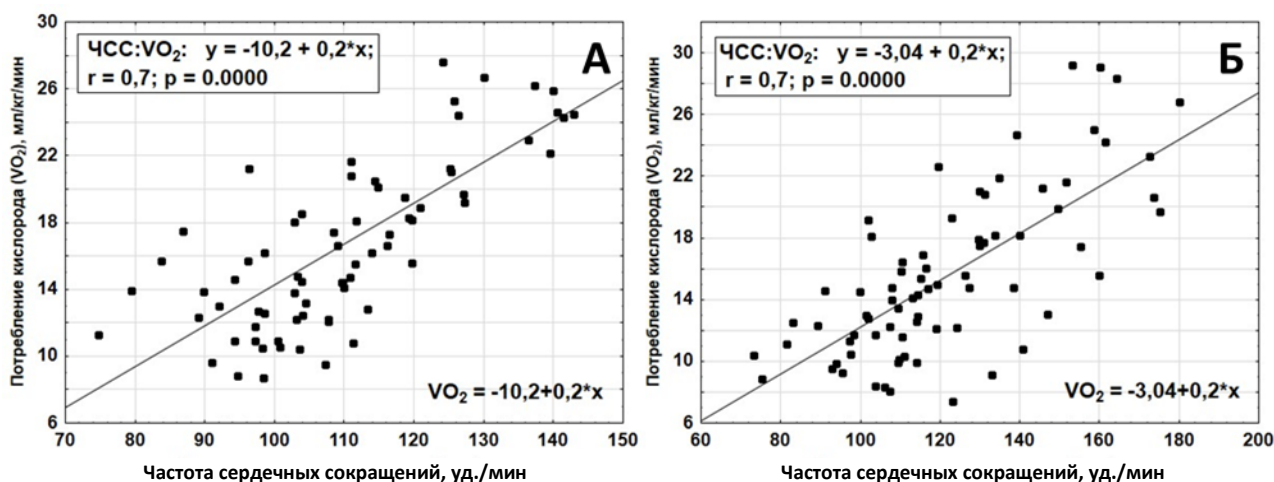


Рис. 1. Зависимость относительного потребления кислорода (VO_2 , мл/кг/мин) от частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин) при ходьбе со скоростью $2 \div 7$ км/ч у юношей (А) и девушек (Б)

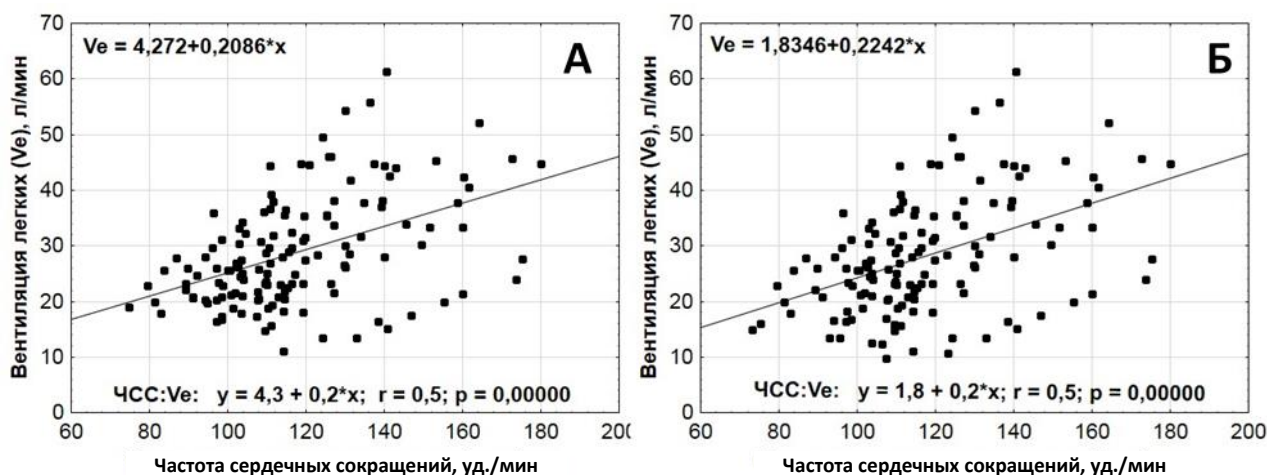


Рис. 2. Зависимость вентиляции легких (Ve , л/мин) от частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин) у юношей (А) и девушек (Б)

Зависимость легочной вентиляции от величины потребления кислорода отображается уравнением линейной регрессии вида: $VO_2 = -12,9 + 40,3 Ve$ ($r = 0,98$; $p = 0,0000$) у юношей и $VO_2 = 116,3 + 34,7 Ve$ у девушек ($r = 0,97$; $p = 0,0000$) (рис. 3).

Данные, приведенные на рис. 2 и 3, свидетельствуют о том, что показатель легочной вентиляции сургутских студентов при разных скоростях ходьбы на тредмиле имеет более тесную связь с величиной потребления кислорода ($r = 0,98$; $p = 0,0000$), чем с частотой сердечных сокращений ($r = 0,5$; $p = 0,0000$).

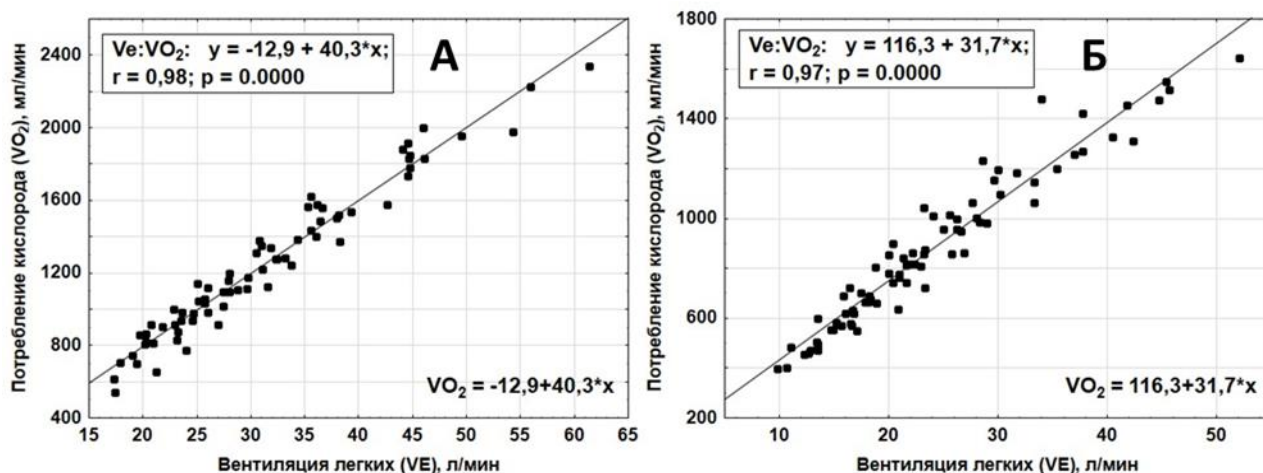


Рис. 3. Зависимость потребления кислорода (VO_2 , мл/мин) от величины легочной вентиляции (Ve , л/мин) у юношей (А) и девушек (Б)

Определена зависимость между величиной потребления кислорода, индексом массы тела и показателем легочной вентиляции у юношей и девушек. Уравнение линейной регрессии имеет вид: $ИМТ = 6,4 + 0,8 Ve$ ($r = 0,6120$; $p = 0,0344$) для юношей и $ИМТ = 17,6 + 0,3 Ve$ ($r = 0,2857$; $p = 0,3441$) (рис. 4).

Обсуждение результатов. Физическая активность, реализуемая посредством сокращения скелетных мышц, является наиболее вариабельной и затратной частью биоэнергетики человека [6; 7; 13]. При этом точное измерение затраты энергии, связанной с проявлением физической активности остается трудной задачей, особенно в тех случаях, когда активность имеет небольшую интенсивность и нерегулярный характер [8].

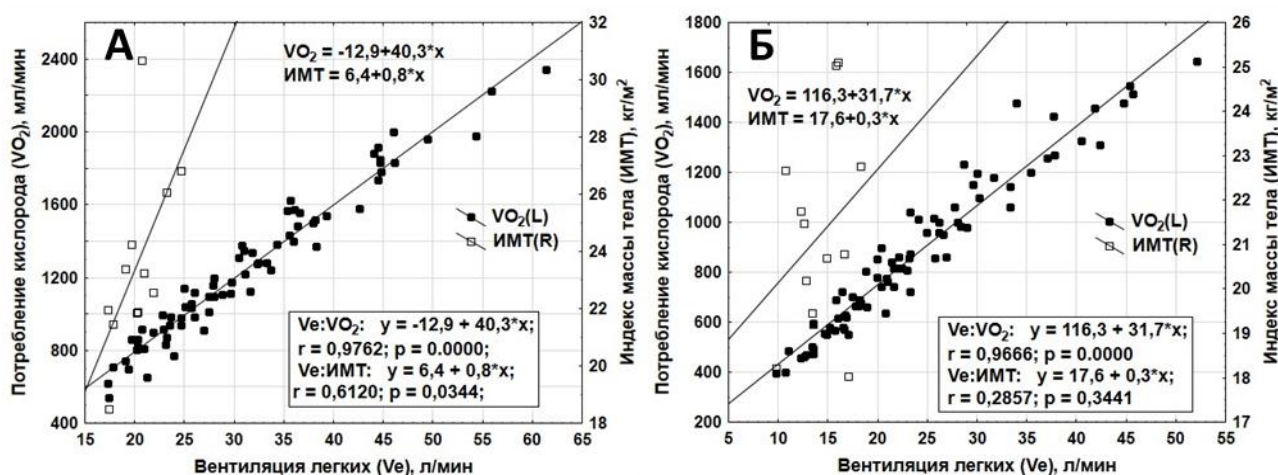


Рис. 4. Зависимость потребления кислорода (VO_2 , мл/мин) и индекса массы тела (ИМТ, $кг/м^2$) от величины легочной вентиляции (Ve , л/мин) у юношей (А) и девушек (Б)

Для точного определения энергии в условиях мышечной нагрузки необходимо рассчитать количества, потребляемого кислорода в единицу времени на 1 кг массы тела. Гораздо проще для этого использовать показатель легочной вентиляции, которая более тесно связана с поглощением кислорода, чем частота сердечных сокращений во время физических нагрузок различной интенсивности.

Зависимость отображается уравнением линейной регрессии вида: $VO_2 = -12,9 + 40,3 Ve$ ($r = 0,98$; $p = 0,0000$) у мужчин и $VO_2 = 116,3 + 34,7 Ve$ ($r = 0,97$; $p = 0,0000$) у женщин. Ана-

логичные данные были получены S. Gastinger et al. (2010), которые выяснили, что при ходьбе на тредмиле в течение 6 мин величина потребления кислорода тесно связана с показателем легочной вентиляции ($r = 0,94$; $p < 0,001$), а зависимость отображается уравнением линейной регрессии вида: $VO_2 = 63,2 + 44,1 Ve$, где VO_2 – потребление кислорода (мл/мин), Ve – величина легочной вентиляции (л/мин), 63,2 и 44,1 эмпирические коэффициенты [9].

Исследователи из Голландии отмечают, что оценка функциональных возможностей кардиореспираторной системы имеет важное значение в спортивной физиологии и медицине. Для спортсменов максимальное потребление кислорода дает ценную информацию об их аэробной мощности. В клинических условиях VO_{2max} предоставляет важную диагностическую и прогностическую информацию как о состоянии пациентов с ишемической болезнью сердца и сердечной недостаточностью, так и здоровых людей. Хотя прямое определение потребления кислорода является наиболее точным методом, оно требует специальной аппаратуры и близкого к максимальному уровню напряжения испытуемого. Поэтому авторы поддерживают разработку альтернативных протоколов для этой цели с использованием акселерометров и мониторов сердечного ритма [8]. Таким образом, с помощью этих устройств можно получать персональную информацию в условиях оздоровительной тренировки путем косвенного определения потребления кислорода и расхода энергии, в том числе с использованием облачной интернет-технологии.

О необходимости разработки новых протоколов исследования энергозатрат при физических упражнениях сообщают английские [12] и французские [5] исследователи. В последнее время некоторые авторы предложили использовать для определения потребления кислорода саморегулируемый тест с физической нагрузкой, который включает в себя серию коротких нагрузочных упражнений, величина которых зависит от степени предварительно установленной оценки воспринимаемого напряжения. Определяется линейная зависимость между величиной воспринимаемого напряжения и потреблением кислорода, по этим данным в дальнейшем рассчитывается количество затраченной энергии [4].

Таким образом, наши предположения подтвердились. Полученные уравнения регрессии можно использовать для контроля адекватности физических нагрузок при проведении оздоровительных тренировок и академических занятий со студентами в условиях Югорского Севера. Для этого необходимо с помощью сухого спирометра определить величину легочной вентиляции за минуту, затем подставить полученное значение в формулу и определить величину расхода кислорода. Дальнейшие исследования позволят уточнить эмпирические коэффициенты на большей выборке северян с учетом возраста и индекса массы тела.

Литература

1. Логинов С. И. Физическая активность: методы оценки и коррекции. Сургут : Изд-во СурГУ, 2005. 342 с.
2. Логинов С. И., Козлова В. В., Горленко В. А., Ельников А. В. Влияние физических упражнений на параметры кардиореспираторной системы женщин и мужчин второго зрелого возраста в условиях ХМАО – Югры // Теория и практика физической культуры. 2013. № 11. С. 88–92.
3. Astrand P.-O., Saltin B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity // J. Appl. Physiol. 1961. Vol. 16. P. 977–981.
4. Coquart J., Tabben M., Farooq A., Tourny C., Eston R. Submaximal, Perceptually Regulated Exercise Testing Predicts Maximal Oxygen Uptake: A Meta-Analysis Study // Sports Med. 2016. 20 (Epub ahead of print).
5. Coquart J. B., Garcin M., Parfitt G., Tourny-Chollet C., Eston R. G. Prediction of maximal or peak oxygen uptake from ratings of perceived exertion // Sports Med. 2014. Vol. 44, № 5. P. 563–578.

6. DeLany J. P., Kelley D. E., Hames K. C., Jakicic J. M., Goodpaster B. H. Effect of physical activity on weight loss, energy expenditure, and energy intake during diet induced weight loss // *Obesity* (Silver Spring). 2014. Vol. 22, № 2. P. 363–370.
7. Fair A. M., Montgomery K. Energy balance, physical activity, and cancer risk // *Methods Mol. Biol.* 2009. V. 472. P. 57–88.
8. Gastinger S., Nicolas G., Sorel A., Sefati H., Prioux J. Energy expenditure estimate by heart-rate monitor and a portable electromagnetic coils system // *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2012. Vol. 22, № 2. P. 117–130.
9. Gastinger S., Sorel A., Nicolas G., Gratas-Delamarche A., Prioux J. A Comparison between Ventilation and Heart Rate as Indicator of Oxygen Uptake during Different Intensities of Exercise // *J. Sports Sci. Med.* 2010. Vol. 9, № 1. P. 110–118.
10. Mauger A. R., Sculthorpe N. A new VO_2max protocol allowing self-pacing in maximal incremental exercise // *Br. J. Sports Med.* 2012. Vol. 46, № 1. P. 59–63.
11. Saltin B., Astrand P.-O. Maximal oxygen uptake in athletes // *J. Appl. Physiol.* 1967. Vol. 23, № 3. P. 353–358.
12. Sartor F., Vernillo G., de Morree H. M., Bonomi A. G., La Torre A., Kubis H. P., Veicsteinas A. Estimation of maximal oxygen uptake via submaximal exercise testing in sports, clinical, and home settings // *Sports Med.* 2013 Vol. 43, № 9. P. 865–873.
13. Wasserman K., Beaver W. L., Whipp B. J. Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold // *Circulation.* 1990. Vol. 81. P. 14–30.