

# НОРМАЛЬНАЯ И ПАТОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

## ПАТТЕРНЫ ДЫХАНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ТРЕНИРОВОЧНЫХ НАГРУЗОК РАЗЛИЧНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ В ЛЕГКОАТЛЕТИЧЕСКОМ БЕГЕ

Т.Г. Корниенко

*Российский государственный университет физической культуры, спорта,  
молодежи и туризма (ГЦОЛИФК), г. Москва*

На основе анализа динамики частоты сердечных сокращений и параметров внешнего дыхания во время работы и восстановления у высококвалифицированных легкоатлетов при выполнении ими предельных нагрузок были рассчитаны показатели вентиляционного прихода, вентиляционного долга и вентиляционного запроса упражнения. Установлено, что вентиляционная стоимость упражнений близко воспроизводит изменения основных параметров кислородного запроса при мышечной работе предельной мощности и продолжительности и может быть использована в целях квантификации, а также нормирования физических нагрузок в спорте.

**Ключевые слова:** вентиляционная стоимость упражнения, вентиляционный приход, вентиляционный долг, спортивная работоспособность, предельные нагрузки, аэробные и анаэробные возможности, уровень спортивных достижений.

**Введение.** Прошедшее столетие ознаменовалось развитием рекордных достижений в беге, что в свою очередь сопровождалось концентрацией усилий, направленных на повышение роли фактора анаэробной работоспособности. По данным Дэвида Дила, одного из родоначальников биоэнергетических исследований в беге, за последние 40 лет каких-либо существенных изменений в проявлениях максимальной анаэробной работоспособности в беге не происходило [9, 10]. Адаптационные возможности в развитии этого показателя у ведущих спортсменов мира уже исчерпаны. Дэвид Дил считает, что повышение работоспособности в этом виде спорта в ближайшие 20–30 лет будет обусловлено возрастанием анаэробной работоспособности, применением более эффективных методов тренировки, а также дополнительных эргогенических средств и успешным использованием изменяющихся биоклиматических условий. С этой точки зрения прове-

дение специальных исследований, ориентированных на изучение факторов, определяющих анаэробную работоспособность легкоатлетов, и позволяющих вносить необходимые коррективы в процесс развития этих способностей, представляется вполне актуальным и имеющим большое значение для дальнейшего совершенствования современной теории и практики данного вида спорта.

**Цель исследования.** Изучение динамических изменений показателей вентиляционной стоимости и тканевой спектроскопии в упражнениях разной мощности и предельной продолжительности у высококвалифицированных легкоатлетов-бегунов.

**Материалы и методы.** В исследовании приняло участие 25 спортсменов (из них 4 – женщины), специализирующихся преимущественно в беге на средние и длинные дистанции; спортивная квалификация – от 1 спортивного разряда до МСМК (табл. 1).

Таблица 1

## Сводные данные спортсменов, принимавших участие в исследовании

	Возраст, лет	Рост, см	Вес, кг
	<b>Мужчины (n=21)</b>		
Среднее	20,2	179,1	66,4
SD	3,4	6,8	5,6
	<b>Женщины (n=4)</b>		
Среднее	20,0	170	56,1
SD	2,4	0,4	0,8

Каждый из спортсменов, принимавших участие в эксперименте, преодолел с соревновательной интенсивностью одну или две дистанции, в которых он специализируется. Всего в исследовании было использовано 5 различных отрезков – 200, 400, 600, 1000 и 2000 м. Кроме того, все спортсмены выполнили испытания по программе стандартных лабораторных тестов, проведение которых обеспечивало комплексную оценку их аэробной и анаэробной работоспособности в критических режимах мышечной деятельности: тест ступенчатого повышения нагрузки для определения величины максимального потребления кислорода и критической мощности [12, 14], тест однократной предельной работы (Wingate test) для определения анаэробной гликолитической емкости и мощности [5, 6, 10] и тест максимальной анаэробной мощности для определения алактатной анаэробной мощности [1, 11]. Газовые объемы и состав вдыхаемого воздуха измеряли с помощью мониторинговой системы CORTEX фирмы MetaLayser (Германия). Частоту сердечных сокращений (ЧСС) регистрировали с помощью пульсовых мониторов Teem Polar (Финляндия). Измерение величины процентного содержания оксигемоглобина в работающих мышцах (StO<sub>2</sub>) выполняли с помощью монитора насыщения тканей кислородом InSpectra. Непрерывную регистрацию показателей уровня легочной вентиляции в течение 3 мин до, во время работы и в течение 5 мин восстановительного периода выполняли в режиме каждого выдоха с использованием волюметра SV3000 (Россия). При

проведении графоаналитических расчетов кривых динамики уровня легочной вентиляции во время работы и в период восстановления использовались стандартные пакеты компьютерных программ Statistica и Microsoft Excel [2].

**Результаты и обсуждение.** Общая картина динамики уровня легочной вентиляции при однократном выполнении спортсменом теста максимальной аэробной мощности (МAM) представлена на рис. 1. На данном графике продемонстрирован расчет показателей вентиляционной стоимости упражнения, адекватно отражающий изменения энергетического запроса выполняемой работы.

По оси ординат – уровень легочной вентиляции, л/мин; по оси абсцисс – время, мин. Заштрихованная область в период работы соответствует сумме вентиляционного излишка работы ( $\Delta V_E^W$ ), затушеванная область под кривой восстановления соответствует величине вентиляционного излишка восстановления ( $\Delta V_E^R$ ). Общая вентиляционная стоимость упражнения вычисляется по формуле  $\Sigma \Delta V_E = \Delta V_E^W + \Delta V_E^R$ .

Наиболее точные результаты показателей вентиляционной стоимости упражнения могут быть получены в стандартизированных лабораторных тестах на велоэргометре (тесты максимальной анаэробной мощности и однократной предельной работы). На рис. 2 представлена динамика уровня легочной вентиляции при выполнении спортсменом теста МAM. Полученные данные о динамике вентиляционного ответа говорят о том, что значение вентиляционного излишка, характери-

зующего количество потребления кислорода, которое поступает в организм спортсмена при выполнении работы, непрерывно возрастает от повторения к повторению. Размеры вентиляционного долга увеличиваются в период восстановления с каждым новым повторением упражнения. Наиболее высокие зна-

чения уровня легочной вентиляции, как правило, отмечаются в период 15–20 с после окончания упражнения. Это означает, что метаболические стимулы, связанные с поставкой кислорода в ткани, увеличиваются с каждым повторением, а суммарный кислородный долг при этом возрастает.

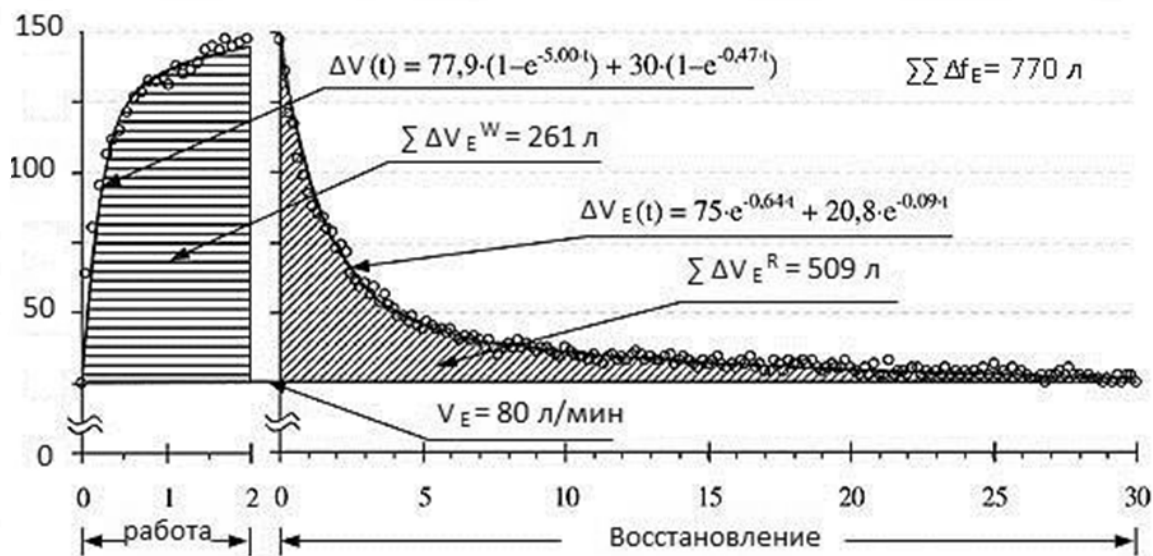


Рис. 1. Кривая изменения уровня легочной вентиляции во время работы и восстановления и расчет показателей вентиляционной стоимости упражнения

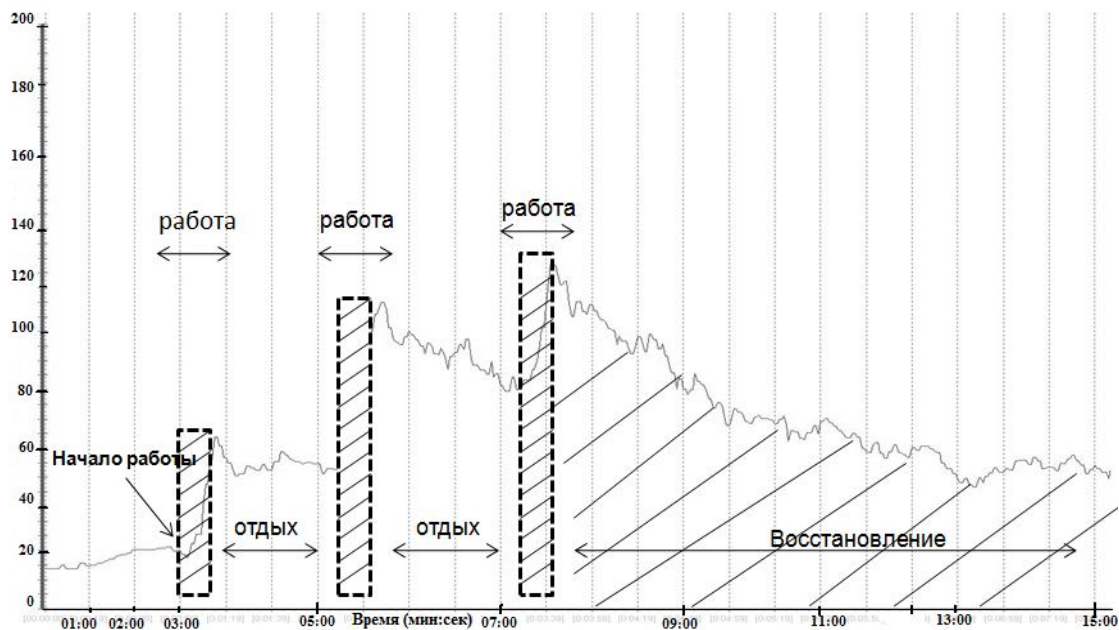


Рис. 2. Динамика показателей легочной вентиляции при выполнении лабораторных испытаний в тесте МАМ на велоэргометре

Динамика показателей тканевой утилизации кислорода в тесте МАМ представлена на рис. 3. Необходимо отметить, что динамика показателей кислородного насыщения отражает динамику утилизации кислорода во время выполнения работы. Начало падения оксигенации в работающих мышцах отмечается в первые секунды выполнения упражнения, а восстановление данного показателя наблюдается сразу после завершения упражнения. Суммарное падение степени оксигенации может отражать локальное повышение кислородной задолженности в работающих мышцах во время выполнения теста МАМ.

Наиболее разительные изменения отмечаются в параметрах вентиляционной стоимости анаэробной нагрузки в тесте однократной предельной работы (рис. 4). Величины вентиляционного долга заметно выше, чем в тесте МАМ. Выполнение данного теста характеризуется повышением гликолиза и накоплением молочной кислоты в работающих мышцах, что приводит к замедлению процессов «срочного» восстановления в первые 5 мин после завершения работы (в целях оплаты «алактатного» кислородного долга).

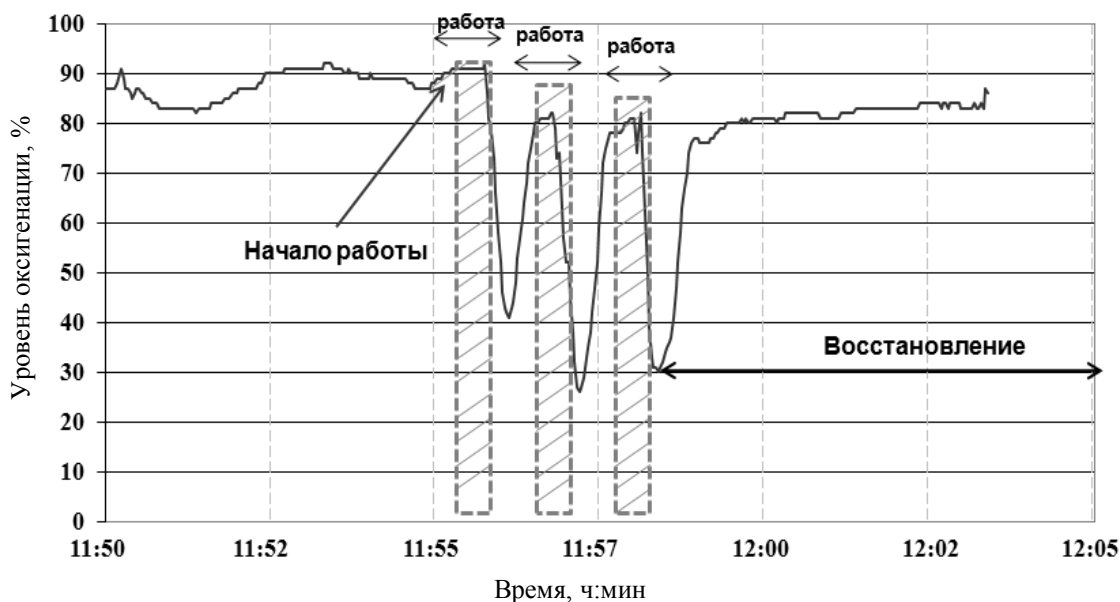


Рис. 3. Динамика показателей тканевой оксигенации при выполнении лабораторных испытаний в тесте МАМ на велоэргометре

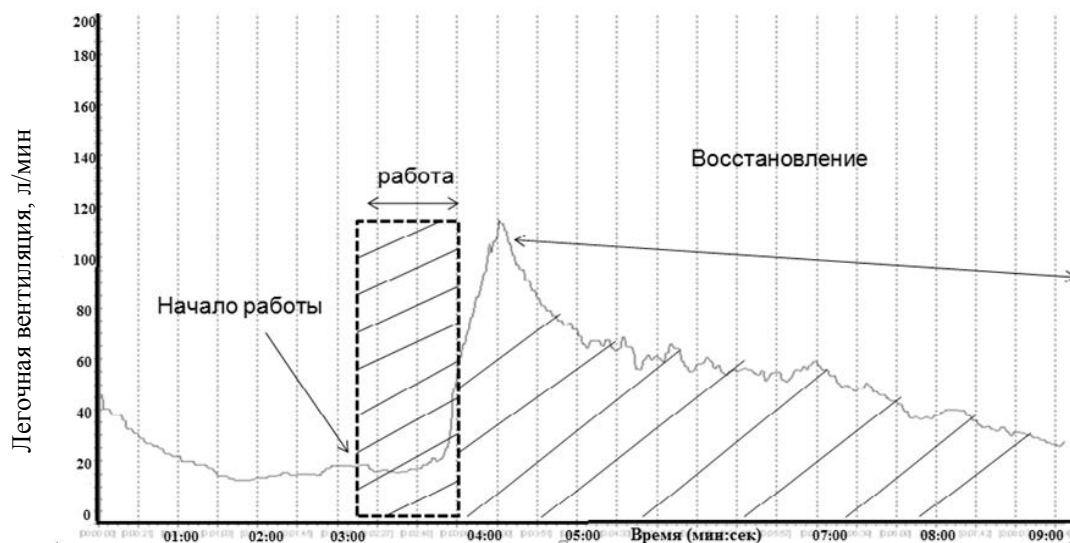


Рис. 4. Динамика показателей легочной вентиляции при выполнении лабораторных испытаний теста Wingate на велоэргометре

Картина, подтверждающая вышеотмеченные изменения легочной вентиляции, наблюдается при оценке оксигенации тканей кислородом в тесте Wingate (рис. 5). Установлено относительно быстрое восстановле-

ние тканевой оксигенации в пределах первых 2 мин после окончания упражнения и достаточно быстрое восстановление до исходного уровня в последующие 3 мин восстановления.

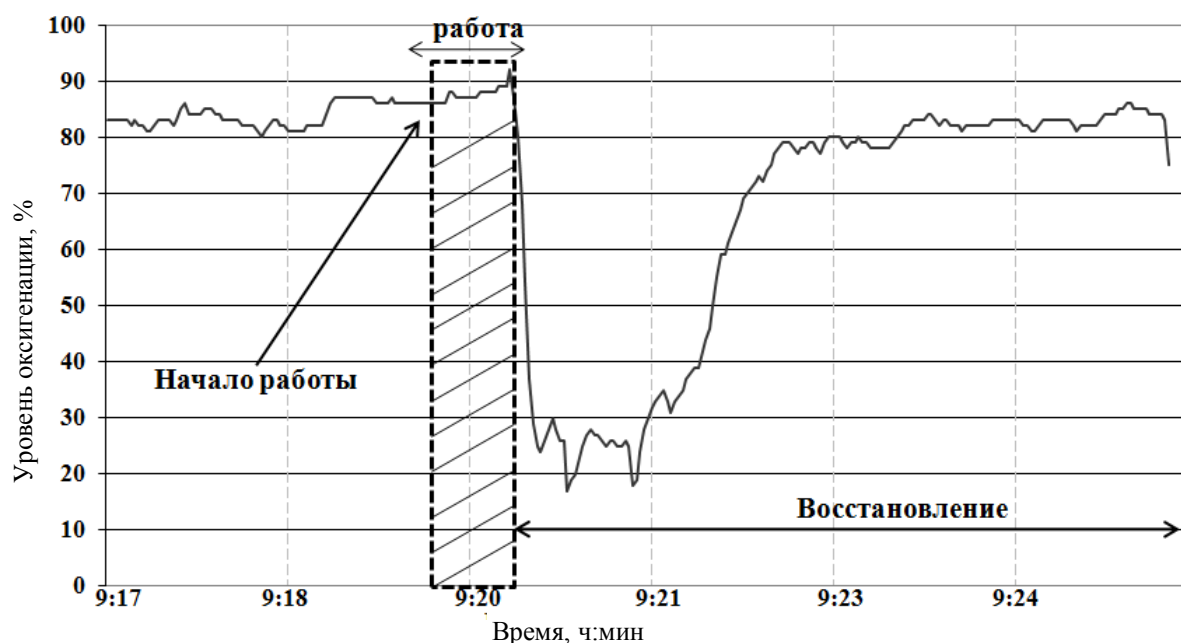


Рис. 5. Динамика показателей тканевой оксигенации при выполнении лабораторных испытаний в тесте Wingate на велоэргометре

Анализ полученных результатов полевых испытаний показал, что при преодолении спринтерских дистанций (200 м) показатели внешнего дыхания (объем выдоха, частота дыхания и легочная вентиляция) оставались на неизменном уровне приблизительно в течение 30 с, после чего отмечался синхронный подъем данных величин. Максимальные значения были зарегистрированы к концу 2 мин восстановления. Максимум значений ЧСС составил 169 уд./мин, а максимум легочной вентиляции — 110 л/мин. Максимальная величина вентиляционного долга у одного из испытуемых, специализировавшихся в спринтерских дисциплинах, достигла 350 л. В то же время в беге на 1000 и 2000 м у некоторых спортсменов была отмечена «поразительная» динамика паттернов дыхания (рис. 6). Срав-

нение всех 3 графиков, представленных на данном рисунке, показывает, что в первую очередь рост уровня легочной вентиляции обеспечивается за счет увеличения объема выдоха (максимум достигается через 1 мин после старта), а потом уже за счет возрастания частоты дыхания.

Наибольшая величина вентиляционного долга зафиксирована на дистанции 400 м (рис. 7). На более длинных дистанциях вклад процессов анаэробного метаболизма, который отражают показатели вентиляционного долга, постепенно снижается. Вентиляционная стоимость работы на дистанциях 200 и 400 м линейно возрастает параллельно с увеличением показателей суммарной вентиляционной стоимости упражнения.

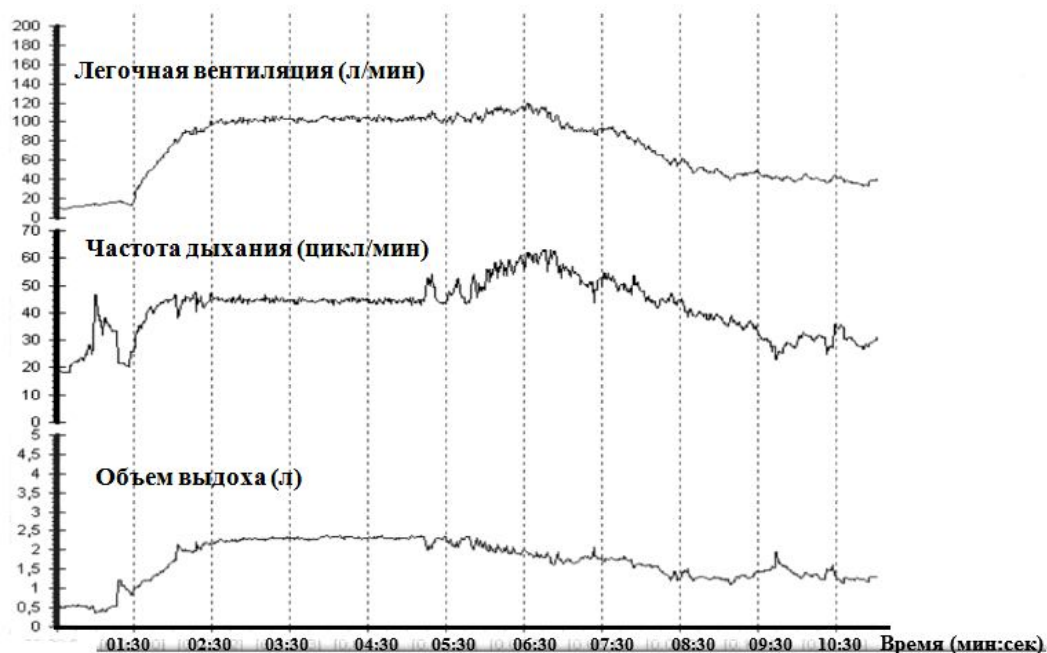


Рис. 6. Кинетика уровня легочной вентиляции, частоты дыхания и объема выдоха у спортсменки (МСМК) в беге на 2 км

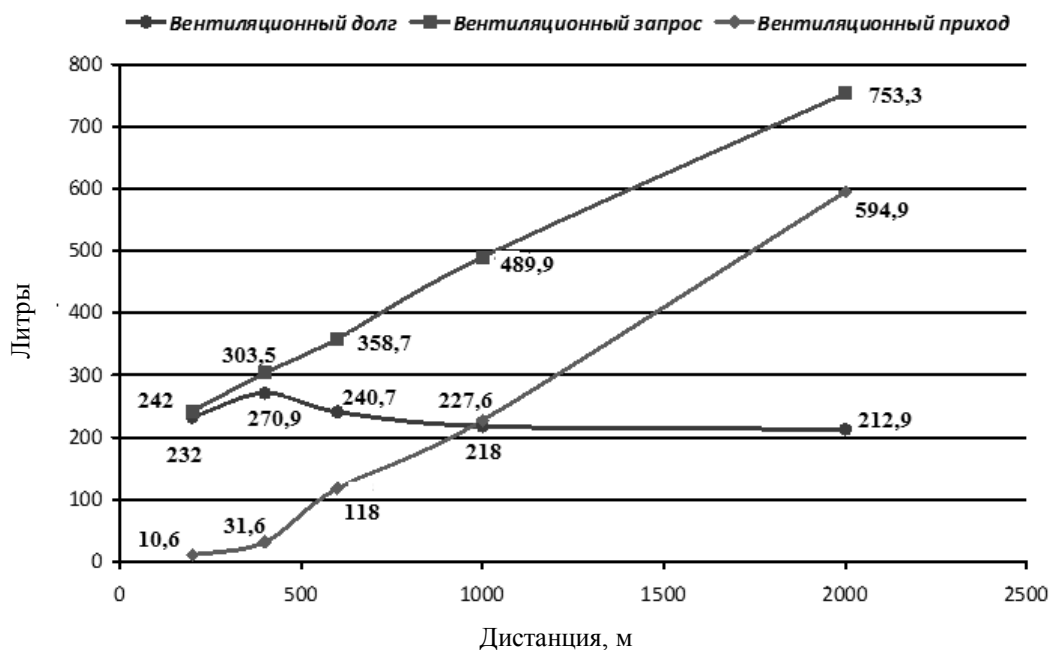


Рис. 7. Динамика показателей вентиляционной стоимости упражнения у высококвалифицированных бегунов на дистанциях от 200 до 2000 м

### Выводы:

1. Показатели вентиляционной стоимости упражнения с большой точностью воспроизводят основные зависимости от параметров относительной мощности и предельной продолжительности работы.
2. Одновременная регистрация показателей вентиляционной стоимости и тканевой

спектроскопии при выполнении упражнений предельной анаэробной мощности на велоэргометре позволяет получить точную количественную оценку и нормативы внешнего дыхания для физических нагрузок различного физиологического воздействия, требующих от спортсменов проявления анаэробной работоспособности.

3. По результатам проведенных полевых испытаний излишек вентиляции за время работы на коротких дистанциях (200 и 400 метров) при дальнейшем увеличении дистанции линейно возрастает параллельно с суммарной вентиляционной стоимостью упражнения.

5. При нормировании тренировочных нагрузок по показателям вентиляционной стоимости упражнения следует учитывать индивидуальные различия, связанные с характером специализации в определенном режиме избранных физических нагрузок различного физиологического воздействия.

1. Алтухов Н. Д. Оценка уровня порога анаэробного обмена у спортсменов при выполнении напряженной мышечной деятельности в лаборатории и естественных условиях по показателям параметров внешнего дыхания / Н. Д. Алтухов, Н. И. Волков // Теория и практика физ. культуры: журнал в журнале. – 2008. – № 11. – С. 51–54.

2. Боровиков В. П. Statistica – статистический анализ и обработка данных в среде Windows / В. П. Боровиков, И. П. Боровиков. – М., 1997.

3. Волков Н. И. Кислородный запрос и вентиляционная стоимость мышечной работы / Н. И. Волков, Н. Д. Алтухов, С. В. Козырь // Вопросы экспериментальной и клинической физиологии дыхания : сб. науч. тр. – Тверь : Тверской гос. ун-т, 2007. – С. 64–73.

4. Волков Н. И. Кислородный запрос и энергетическая стоимость напряженной мышечной деятельности / Н. И. Волков, И. А. Савелев // Физиология человека. – 2012. – Т. 28, № 1. – С. 61–93.

5. Bar-Or O. The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity / O. Bar-Or // Sports Med. – 1994. – Vol. 35. – P. 381.

6. Anaerobic running capacity determined from a 3-parameter systems model: relationship with other anaerobic indices and with running performance in the 800-m run / L. Bosquet [et al.] // Int. J. Sports Med. – 2007. – № 28. – P. 495–500.

7. Bret C. Differences in lactate exchange and removal abilities in athletes specialised in different track running (100 to 1500 m) / C. Bret, L. Messonnier // Int. J. Sports Med. – 2003. – № 24. – P. 108–113.

8. Differential modeling of anaerobic and aerobic metabolism in the 800-m and 1,500-m run / V. Billat [et al.] // J. Appl. Physiol. – 2009. – № 107. – P. 478–487.

9. Dill D. B. A longitudinal study of 16 champion runners / D. B. Dill // Sports Med. – 1967. – Vol. 7. – P. 4–27.

10. Dill D. B. The economy of muscular exercise / D. B. Dill // Physiol. Rev. – 1936. – Vol. 16. – P. 263–291.

11. Fujihara U. Cardiorespiratory transients in exercising man. II Linear models / U. Fujihara, J. R. Hildebrandt // J. Appl. Physiol. – 1973. – Vol. 35. – P. 68–76.

12. Inbar I. The Wingate anaerobic test / I. Inbar, O. Bar-Or, J. S. Skinner // Champain: Human Kinetics, 1996. – P. 120.

13. Romer L. M. Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance / L. M. Romer, M. I. Polkey // J. Appl. Physiol. – 2008. – № 104. – P. 879–888.

14. Validity of the Wingate anaerobic test for the evaluation of elite runners. / A. Legaz-Arrese [et al.] // Int. J. Sports Med. – 2011. – № 25 (93). – P. 19–24.

15. Verges S. Effect of acute hypoxia on respiratory muscle fatigue in healthy humans / S. Verges, D. Bachasson, B. Wuyam // Respiratory Research. – 2010. – № 11. – P. 109–112.

16. Whipp B. J. Ventilatory Control Dynamics during Muscular Exercise in Man / B. J. Whipp, S. A. Ward // Int. J. Sports Med. – 1980. – Vol. 1. – P. 146.

## PATTERNS OF BREATHING IN DIAGNOSTICS OF TRAINING LOADINGS VARIOUS DIRECTION IN TRACK AND FIELD RUNNING

T.G. Kornienko

*Russian State University of Physical Education, Sport, Youth and Tourism (GTSOLIFK), Moscow*

On the basis of dynamics heartbeat rates and parameters of external breathing during the testing procedure and recovery of highly skilled runners from the period of maximum loads the volumes of ventilation influx, oxygen debt, and oxygen demand for exercise were registered by some specialized software. The analysed data revealed that all of external breathing values lose reproduce changes of basic parameters of oxygen demand during the exercises at high intensity and duration and can be used for quantification and rating physical loads in sport.

**Keywords:** ventilating cost of exercise, ventilating arrival, ventilating debt, sports working capacity, maximum loads, aerobic and anaerobic opportunities, level of sporting achievements.