

# Нормирование тренировочных нагрузок с использованием показателей энергетической стоимости упражнения

Нина Булгакова, Николай Волков, Олег Попов, Анатолий Самборский  
Москва, Россия

## Rationing training loads on the basis of exercise energy cost indices Nina Bulhakova, Nikolay Volkov, Oleg Popov, Anatoliy Samborskiy

**ABSTRACT.** *Objective.* To determine indices of pulse sums and energy cost of exercises of different power and maximum duration.

*Methods.* The study involved 26 highly skilled swimmers, middle distance runners and speed skaters. Exercises of 10, 30, 60, 120, 360 s duration were performed on a bicycle ergometer. Volume and composition of exhaled air (MMC, "Beckman" firm), the blood lactic acid content (microanalyzer pH and blood gases IL-213, "Instrumentation Laboratori" firm) were measured. The heart rate was recorded by P-610 device ("Polar" firm). A special computer program and the standard Statistics and Excel software packages were used to process the results.

*Results.* The use of generalized pulse criteria for rationing training loads in the analysis of the heart rate kinetics during work and recovery has been considered and substantiated. The total pulse value indices of the exercises increase rapidly during short-term exercises, but after a threshold time of 2 min, sharply reduce their growth rate. In the studied range of values of the limiting time of work changes of the pulse value are mainly determined by alterations in the pulse amount of recovery. The highest changes in pulse value are recorded at critical power indices, which correspond to the maximum increase in aerobic metabolism during work. Dependences of pulse value of exercise indices on values of limiting time and relative power in the basic features closely reproduce a picture of change of indices of  $O_2$ -arrival,  $O_2$ -debt and  $O_2$ -request during performance of work. The deduced regression dependencies of their changes can be used to determine energy costs at known values of the exercise pulse value.

*Conclusion.* The established critical values of energy costs and pulse amounts of exercise allow to give a strict quantitative assessment of applied training loads and to carry out their classification for the development of effective programs for training optimization.

**Keywords:** highly skilled athletes, pulse value of exercise, energy costs of exercise, regressive dependencies.

## Нормування тренувальних навантажень з використанням показників енергетичної вартості вправи Ніна Булгакова, Миколай Волков, Олег Попов, Анатолій Самборський

**АНОТАЦІЯ.** *Мета.* Вивчити показники пульсових сум і енергетичної вартості у вправах різної потужності і граничної тривалості.

*Методи.* У дослідженні взяли участь 26 спортсменів високої кваліфікації, які спеціалізуються в плаванні, бігу на середні дистанції і швидкісному бігу на ковзанах. Вправи тривалістю 10, 30, 60, 120, 360 с виконували на велоергометрі. Вимірювали обсяг і склад повітря, що видихається (MMC, фірма «Beckman»), зміст молочної кислоти в крові (мікроаналізатор рН і газів крові IL-213, фірма «Instrumentation Laboratori»). ЧСС реєстрували на пристрої P-610 (фірма «Polar»). Для обробки результатів використовували спеціальну комп'ютерну програму і стандартні пакети програм Statistics і Excel.

*Результати.* Розглянуто і обґрунтовано використання узагальнених пульсових критеріїв для нормування тренувальних навантажень під час аналізу кінетики частоти пульсу під час роботи і відновлення. Показники сумарної пульсової вартості вправ швидко наростають у короткочасних вправах, але після позначки граничного часу, що дорівнює 2 хв, різко знижують темпи приросту. У вивченому діапазоні значень граничного часу роботи зміни рівня пульсової вартості задаються переважно змінами у пульсовій сумі відновлення. Найбільші зміни пульсової вартості реєструються під час значень критичної потужності, що відповідають максимальному посиленню аеробного обміну у ході роботи. Залежності показників пульсової вартості вправи від значень граничного часу і відносної потужності в основних рисах близько відтворюють картину зміни показників  $O_2$ -приходу,  $O_2$ -боргу і  $O_2$ -запиту під час виконання роботи. Виведені регресійні залежності їх зміни можуть бути використані для встановлення енергетичних витрат при відомих значеннях пульсової вартості вправи.

*Висновок.* Встановлені критичні значення енергетичних витрат і пульсових сум вправи дозволяють дати сувору кількісну оцінку застосовуваних тренувальних навантажень і провести їх класифікацію для розробки ефективних програм оптимізації тренування.

**Ключові слова:** спортсмени високої кваліфікації, пульсова вартість вправи, енергетичні витрати вправи, регресивні залежності.

**Постановка проблемы.** Адаптация к воздействию физических нагрузок в процессе спортивной тренировки количественно описывается зависимостью «доза–эффект» [1]. Показателем достигаемого эффекта служит величина прироста тренируемой функции за период наблюдения, а доза воздействия физической нагрузки задается произведением интенсивности энергетических затрат упражнения на время действия нагрузки, в котором суммируются время выполнения упражнения, общее время пауз отдыха между повторениями упражнения и время срочного восстановления, связанного с оплатой быстрой фракции кислородного долга. Абсолютные значения частоты пульса, обычно используемые в практике спорта для оценки уровня энергетических затрат упражнения, обнаруживают линейную зависимость от уровня выделения энергии в аэробном процессе лишь в ограниченной области физических нагрузок, не превышающих значения критической мощности, где достигается максимум потребления кислорода. Для широкого круга нагрузок будет более оправданным использование обобщенных пульсовых критериев, таких, как пульсовая сумма работы, пульсовая долг, пульсовая стоимость упражнения, которые выводятся из анализа кинетики частоты пульса во время работы и восстановления [2].

**Цель исследования** – изучить показатели пульсовых сумм и энергетической стоимости в упражнениях разной мощности и предельной продолжительности.

**Методы исследования.** 26 спортсменов высокой квалификации (возраст – 18–24 года, рост – 162–186 см, масса тела – 62–83 кг), специализирующихся в плавании, беге на средние дистанции и скоростном беге на коньках, выполнили серию упражнений на велоэргометре с предельной продолжительностью 10, 30, 60, 120 и 360 с. Упражнения выполнялись без предварительной разминки. Измерения газовых объемов и состава выдыхаемого воздуха выполняли с помощью мониторинговой системы ММС фирмы «Beckman». Благодаря применению специальной компьютерной программы рассчитывали значения  $O_2$ -прихода за время упражнения, величины кислородного долга и кислородного запроса, а также показатели выделения энергии в аэробном и ана-

эробных процессах. Для определения содержания молочной кислоты в крови использовали энзиматический метод д-ра Ланге. Измерения показателей кислотно-основного равновесия крови выполняли с использованием микроанализатора рН и газов крови IL-213 фирмы «Instrumentation Laboratory». В состоянии покоя перед началом опыта, при выполнении упражнения и в период восстановления проводили непрерывную регистрацию частоты сердечных сокращений (ЧСС) с использованием пульсового мониторингового устройства P-610 фирмы «Polar» (Финляндия). Запись ЧСС с монитора вводили в компьютер посредством инфракрасного интерфейса. Из абсолютных значений ЧСС вычиталась величина ЧСС покоя. При проведении графоаналитических расчетов использовали стандартные пакеты программ Statistica и Excel. Пример записи ЧСС во время работы и восстановления с расчетом суммарных пульсовых показателей ЧСС при выполнении упражнения с предельной продолжительностью 2 мин приведен на рисунке 1.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Данные о показателях пульсовых сумм и энергетической стоимости в упражнениях различной мощности и предельной продолжительности представлена в таблице 1. Динамику показателей пульсовых сумм в зависимости от изменения значений мощности и предельной продолжительности упражнения иллюстрируют графики на рисунках 2–5.

Показатели суммарной пульсовой стоимости упражнения, как свидетельствует график на рисунке 2, быстро нарастают в кратковременных упражнениях, но после отметки предельного времени, равного 2 мин, резко снижают темпы прироста. В этом диапазоне предельного времени темпы прироста пульсовой стоимости упражнения определяются в основном изменениями пульсовой суммы работы, в то время как в диапазоне кратковременных упражнений изменения пульсовой стоимости упражнения задаются изменениями в значениях пульсовой суммы восстановления.

Изменения показателей уровня пульсовой стоимости упражнения в зависимости от предельного времени представлены на графике рисунка 3. Как нетрудно

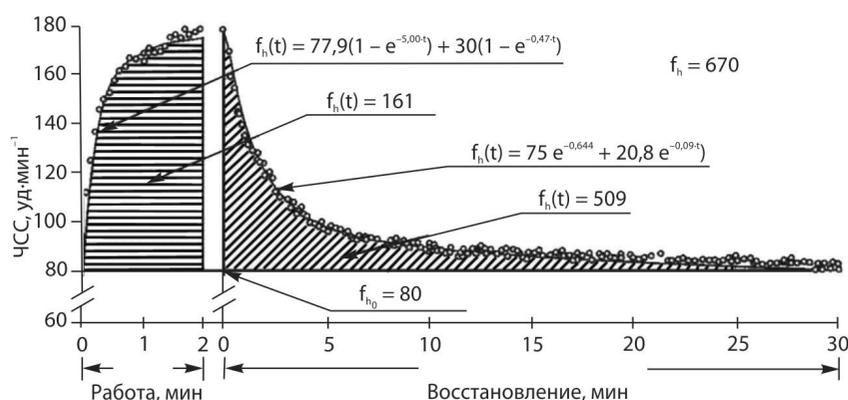


РИСУНОК 1 – График динамики ЧСС и расчет суммарных пульсовых показателей при выполнении упражнения с предельной продолжительностью 2 мин

ТАБЛИЦА 1 – Пульсовые суммы и энергетическая стоимость упражнений различной мощности и предельной продолжительности

Показатель	Обозначение	Предельная продолжительность упражнения, с				
		10	30	60	120	360
Мощность, Вт	$\dot{W}$	850 ± 108	490 ± 48	380 ± 37	290 ± 28	170 ± 14
Максимальный метаболический уровень, ед. MMR	$RO_2/\max VO_2$	9,45 ± 2,61	3,82 ± 0,63	2,51 ± 0,38	1,48 ± 0,19	0,913 ± 0,126
Пульс-сумма работы, уд	$\Sigma\Delta fh(p)$	7 ± 2	33 ± 6	80 ± 22	160 ± 37	450 ± 83
Пульс-сумма восстановления, уд	$\Sigma\Delta fh(B)$	215 ± 54	280 ± 65	370 ± 105	480 ± 112	420 ± 97
Пульсовая стоимость упражнения, уд	$\Sigma\Sigma\Delta fh$	222 ± 59	313 ± 69	450 ± 136	640 ± 174	870 ± 182
Уровень пульс-суммы работы, уд · мин <sup>-1</sup>	$\Sigma\Delta fh(p)$	42 ± 12	66 ± 13	80 ± 22	80 ± 18	75 ± 14
Уровень пульс-суммы восстановления, уд · мин <sup>-1</sup>	$\Sigma\Delta fh(B)$	1290 ± 322	560 ± 131	370 ± 105	240 ± 57	70 ± 16
Уровень пульс-суммы упражнения, уд · мин <sup>-1</sup>	$\Sigma\Sigma\Delta fh$	1332 ± 355	626 ± 138	450 ± 136	320 ± 88	145 ± 31
Пиковый уровень потребления кислорода, л · мин <sup>-1</sup>	$\dot{V}O_2$	1,27 ± 0,14	2,83 ± 0,2	4 ± 0,13	4,5 ± 0,24	4,68 ± 0,31
O <sub>2</sub> -приход, л	$\Sigma VO_2$	0,12 ± 0,05	0,97 ± 0,04	2,5 ± 0,19	5,3 ± 0,93	16,6 ± 2,15
Общий O <sub>2</sub> -долг, л	totO <sub>2</sub> D	4,6 ± 1,05	7,02 ± 1,07	8,54 ± 1,09	9,65 ± 1,71	9,4 ± 0,98
Общий O <sub>2</sub> -запрос, л	$\Sigma RO_2, RO_2$	4,7 ± 0,33	7,98 ± 0,84	11,04 ± 0,94	14,95 ± 2,01	26,3 ± 1,96
Уровень O <sub>2</sub> -запроса, л	$\dot{R}O_2$	32,4 ± 5,2	16,01 ± 2,1	11,01 ± 1,28	7,42 ± 0,63	4,4 ± 0,34
Максимум накопления молочной кислоты в крови, ммоль · л <sup>-1</sup>	maxHLa	8,63 ± 1,93	11,57 ± 0,82	15,11 ± 0,96	18,67 ± 1,37	15,67 ± 1,49
Общее количество образованной молочной кислоты, г · кг <sup>-1</sup>	$\Sigma HLa$	0,61 ± 0,07	0,78 ± 0,29	1,02 ± 0,21	1,39 ± 0,31	7,3 ± 0,51
Общая энергопродукция, Дж · кг <sup>-1</sup>	$E_{tot}$	923 ± 51	1540 ± 80	2345 ± 99	3273 ± 131	6605 ± 53,6
Уровень общей энергопродукции, Дж · кг <sup>-1</sup> · мин <sup>-1</sup>	$\dot{E}_{tot}$	5572 ± 275	3084 ± 147	2345 ± 141	1638 ± 83	1102 ± 65,3

убедиться из приводимых данных, в изученном нами диапазоне значений предельного времени работы изменения уровня пульсовой стоимости задаются по преимуществу изменениями в пульсовой сумме восстановления.

На рисунке 4 представлены изменения показателей пульсовой стоимости как функции относительной мощности упражнения. Наибольшие изменения пульсовой стоимости регистрируются при значениях критической мощности, соответствующей максимальному усилению аэробного обмена при работе. С увеличением отно-

сительной мощности вплоть до значений алактатного анаэробного порога (2,5 ед. MMR) показатели пульсовой стоимости обнаруживают резкое снижение, но при дальнейшем увеличении относительной мощности удерживаются вблизи постоянного уровня.

В то же время, как показывает график на рисунке 5, показатели уровня пульсовой стоимости и пульсовой суммы восстановления линейно возрастают в широком диапазоне увеличения относительной мощности упражнения. Значения уровня пульсовой суммы работы в отличие от этого сохраняются практически постоян-

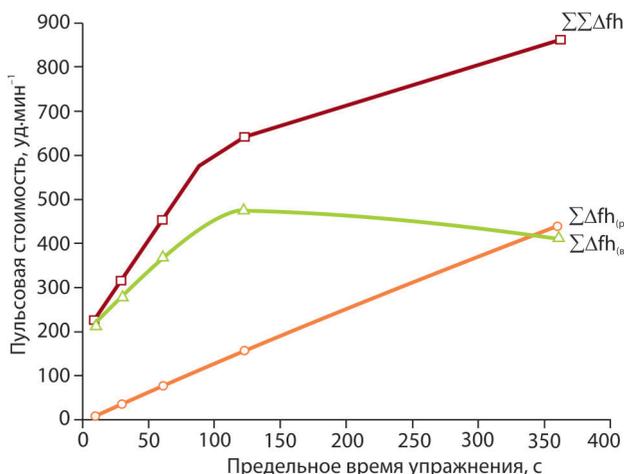


РИСУНОК 2 – Изменения показателей суммарной пульсовой стоимости при выполнении упражнений различной предельной продолжительности

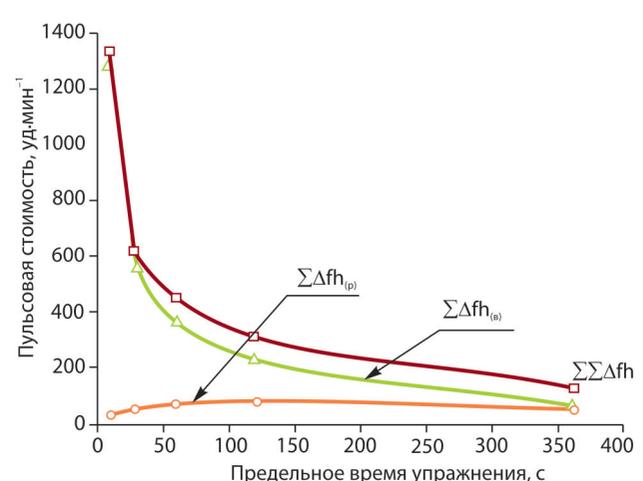


РИСУНОК 3 – Изменения показателей уровня пульсовой стоимости при выполнении упражнений различной предельной продолжительности

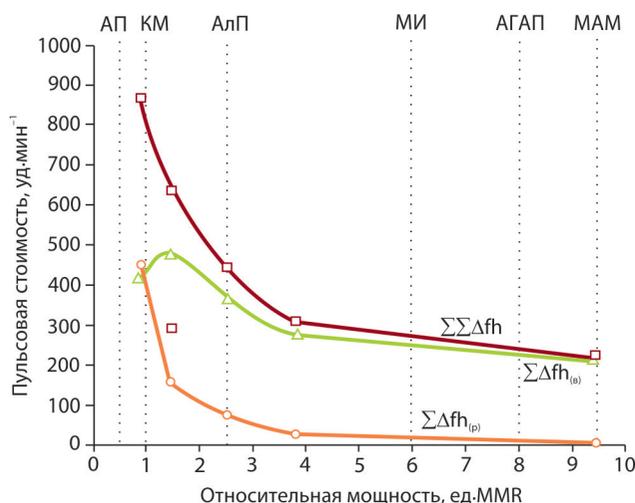


РИСУНОК 4 – Изменения показателей пульсовой стоимости при выполнении упражнений различной относительной мощности: АП – анаэробный порог, КМ – критическая мощность, АлП – алактатный порог, МИ – мощность истощения, АГАП – алактатно-гликолитический анаэробный переход, МАМ – максимальная анаэробная мощность

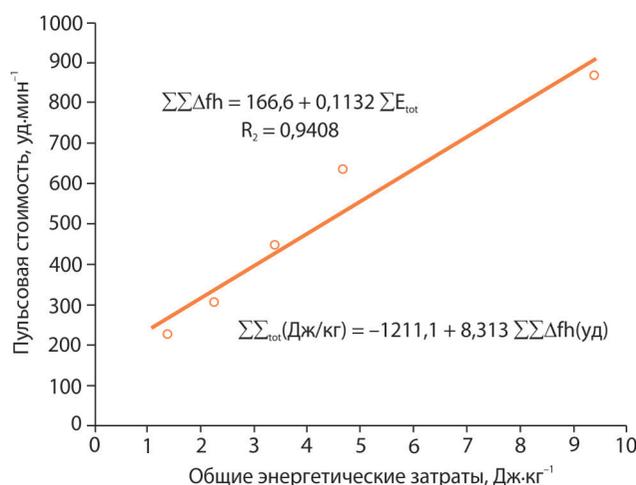


РИСУНОК 5 – Регрессия пульсовой стоимости упражнения от значений общих энергетических затрат

ТАБЛИЦА 2 – Энергетическая стоимость затрат и энергетическая стоимость упражнения в критических режимах физических нагрузок

Показатель	Критический режим нагрузки			
	Порог анаэробного обмена	Критическая мощность	Мощность истощения	Максимальная анаэробная мощность
Относительная мощность, ед. MMR	0,5	1,0	2,5	10–12
Уровень энергетических затрат, Дж · кг <sup>-1</sup> · мин <sup>-1</sup>	450	1100	1650	5550
O <sub>2</sub> -приход упражнения, мл · кг <sup>-1</sup>	45	70	55	25
O <sub>2</sub> -долг, мл · кг <sup>-1</sup>	45	90	200	125
Уровень O <sub>2</sub> -запроса, л · мин <sup>-1</sup>	3,2	4,5	7,5	30,0
Концентрация молочной кислоты в крови, ммоль	4	15,0	>20	10,0
Наибольший сдвиг ДрН, усл. ед.	0,15	0,40	>0,55	<0,55
Пульсовая сумма работы, уд	1200	900	600	250
Пульсовая сумма восстановления, уд	250	410	430	220
Уровень пульсовой стоимости упражнения, уд · мин <sup>-1</sup>	40	150	900	1350

ными вплоть до значений максимальной анаэробной мощности.

Изображенные на графиках (см. рис. 2–5) зависимости показателей пульсовой стоимости упражнения от значений предельного времени и относительной мощности в основных чертах близко воспроизводят картину изменения показателей O<sub>2</sub>-прихода, O<sub>2</sub>-долга и O<sub>2</sub>-запроса, зафиксированную в упражнениях с соответствующими значениями относительной мощности и предельной продолжительности [4]. Для установления соответствия показателей пульсовой стоимости значениям энергетических затрат при выполнении упражнений различной относительной мощности и предельной продолжительности мы вывели регрессионную зависимость для этих показателей. Как показывает график регрессии, представленный на рис. 5, показатель пульсовой стоимости

упражнения изменяется в прямолинейной зависимости от соответствующих значений энергетических затрат упражнения. Выведенная регрессионная зависимость может быть использована для установления энергетических затрат при известных значениях пульсовой стоимости упражнения. На этой основе становится возможной строгая количественная оценка применяемых тренировочных нагрузок, их классификация с использованием установленных критических значений показателей энергетических затрат и пульсовых сумм упражнения (табл. 2).

Приводимые в таблице значения пульсовой стоимости, фиксируемые в критических режимах нагрузок, могут быть использованы при разработке эффективных программ оптимизации тренировки в различных видах спорта [3].

## ■ Литература

1. Волков НИ, Несен ЭН, Осипенко АА, Корсун СН. *Закономерности развития биохимической адаптации и принципы тренировки [Regularities of biochemical adaptation development and principles of training]*. Киев: Олимпийская литература; 2000. с. 408–37.
2. Волков НИ, Попов ОИ, Савельев ИА, Самборский АГ. Пульсовые критерии энергетической стоимости упражнения [Pulse criteria for the energy cost of an exercise]. *Физиология человека*. 2003;29(2):91–7.
3. Волков НИ, Ремизов ЁП. Использование физиологических критериев для оптимизации тренировочного процесса [Using physiological criteria to optimize the training process]. *Теория и практика физической культуры*. 1975;5:12–4.
4. Волков НИ, Савельев ИА. Кислородный запрос и энергетическая стоимость напряженной мышечной деятельности человека [Oxygen demand and energy cost of intense human muscular activity]. *Физиология человека*. 2002;28(4):80–93.

Перепечатано из: Наука в олимпийском спорте, № 2, 2006.