

Взаимосвязь интенсивности накопления пульсового долга со скоростью образования кислородного запроса и накопления лактата в крови при выполнении предельных циклических упражнений различной продолжительности

А.В. Козлов^{1,2,*}, А.Н. Блеер², С.П. Левушкин^{2,3}, В.Д. Сонькин^{2,3}

¹ГКУ города Москвы «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд»
Департамента спорта города Москвы, Москва, Россия

²ФГБОУ ВО «Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи
и туризма», Москва, Россия

³ФГБНУ «Институт возрастной физиологии РАО», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: поиск взаимосвязей интенсивности накопления пульсового долга (ИНПД) со скоростью образования кислородного запроса и накопления лактата в крови при выполнении предельных циклических упражнений различной продолжительности.

Методы: 14 спортсменов-велосипедистов (1-й спортивный разряд, 20 ± 3 года, МПК — $52,9 \pm 5,10$ мл/кг/мин), выполняли в разные дни серию велоэргометрических упражнений предельной мощности при фиксированной продолжительности 10, 30, 60, 120, 360 и 1800 с. По пульсовым суммам пятиминутного восстановления (за вычетом предстартового уровня ЧСС) и времени упражнения рассчитана ИНПД для всех упражнений у каждого испытуемого. Были также рассчитаны скорость накопления концентрации лактата в крови (СНКЛ) и скорость образования кислородного запроса (СОКЗ).

Результаты: СОКЗ, СНКЛ и ИНПД имеют тесную нелинейную взаимосвязь со временем выполнения упражнения (соответственно: $r^2 = 0,84$, $r^2 = 0,91$, $r^2 = 0,96$, при $p < 0,05$), а также с относительной мощностью упражнения (соответственно: $r^2 = 0,80$, $r^2 = 0,86$, $r^2 = 0,90$, при $p < 0,05$). ИНПД имеет тесную взаимосвязь со СОКЗ и СНКЛ (соответственно: $r^2 = 0,80$, $r^2 = 0,94$, при $p < 0,05$).

Выводы: Результаты исследования позволяют использовать пульсометрический показатель ИНПД для достаточно надежного определения интенсивности упражнения и для прогноза уровня накопления лактата, и на этой основе — определения направленности упражнения и нормирования тренировочной нагрузки.

Ключевые слова: интенсивность накопления пульсового долга, скорость образования кислородного запроса, скорость накопления концентрации лактата, предельные циклические нагрузки, спортсмены

Благодарности: Авторы выражают благодарность к.ф.-м.н. Голову А.В. за помощь в статистическом анализе полученных данных.

Финансирование: Работа выполнена как исследовательский проект, поддержанный Научно-методическим советом ЦСТиСК Москомспорта. Работа также частично поддержана тематическим планом НИР РГУФКСМиТ на 2019–2020 гг. (Раздел 03.00.12).

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для цитирования: Козлов А.В., Блеер А.Н., Левушкин С.П., Сонькин В.Д. Взаимосвязь интенсивности накопления пульсового долга со скоростью образования кислородного запроса и накопления лактата в крови при выполнении предельных циклических упражнений различной продолжительности. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2022;12(3):43–50. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.3.2>

Поступила в редакцию: 20.06.2022

Принята к публикации: 12.11.2022

Online first: 30.11.2022

Опубликована: 30.12.2022

* Автор, ответственный за переписку

Correlation between the intensity of pulse longevity accumulation and the rate of oxygen demand formation and blood lactate accumulation in performing limiting cyclic exercises of different duration

Andrey V. Kozlov^{1,2,*}, Alexander N. Bleer², Sergey P. Levushkin^{2,3}, Valentin D. Sonkin^{2,3}

¹ Center for sports innovative technologies and training of national teams of the Moscow Department of sports, Moscow, Russia

² Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism, Moscow, Russia

³ Institute of Developmental Physiology of the Russian Academy of Education, Moscow, Russia

The purpose of the study was to search for the relationship of Pulse Debt Accumulation Intensity (PDAI) with the rate of formation of oxygen demand and the accumulation of lactate in the blood during the performance of limiting cyclic exercises of various durations.

Methods: 14 athletes-cyclists (1st category, 20 ± 3 years, MOC — 52.9 ± 5.10 ml / min / kg), performed a series of bicycle ergometric exercises of maximum power on different days at a fixed duration of 10, 30, 60, 120, 360 and 1800 s. Based on the pulse sums of the five-minute recovery (minus the pre-start HR level) and the exercise time, the intensity of accumulation of pulse debt was calculated for all exercises in each subject. The rate of accumulation of lactate concentration in the blood (SNCL) and the rate of formation of oxygen demand (OCR) were also calculated.

Results: SOCS, SNCL and PDAI have a close non-linear relationship with exercise time (respectively: $r^2 = 0.84$, $r^2 = 0.91$, $r^2 = 0.96$, at $p < 0.05$), as well as with relative exercise power (respectively: $r^2 = 0.80$, $r^2 = 0.86$, $r^2 = 0.90$, at $p < 0.05$). INPD has a close relationship with SRCS and SNCL (respectively: $r^2 = 0.80$, $r^2 = 0.94$, $p < 0.05$).

Conclusions: The results of the study make it possible to use the INPD heart rate indicator for a fairly reliable determination of exercise intensity and for predicting the level of lactate accumulation, and on this basis, determining the direction of the exercise and normalizing the training load.

Keywords: intensity of pulse debt accumulation, oxygen demand formation rate, lactate concentration accumulation rate, limiting cyclic loads, athletes

Acknowledgments: The authors are grateful to Golov A. V., PhD (Physical and Mathematical Sciences) for his help in the obtained data statistical analysis.

Funding: The work was carried out as a research project, supported by the Scientific and Methodological Council of the Moscow State Public Institution "Center for sports innovative technologies and training of national teams" of the Moscow Department of sports. The work is also partially supported by the thematic research plan of the Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism for 2019–2020. (Section 03.00.12).

Conflict of interests: the author declares no conflict of interest.

For citation: Kozlov A.V., Bleer A.N., Levushkin S.P., Sonkin V.D. Correlation between the intensity of pulse longevity accumulation and the rate of oxygen demand formation and blood lactate accumulation in performing limiting cyclic exercises of different duration. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2022;12(3):43–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.3.2>

Received: 20 June 2022

Accepted: 12 November 2022

Online first: 30 November 2022

Published: 30 December 2022

***Corresponding author**

1. Введение

Интенсивность физиологических затрат при выполнении упражнения — один из важнейших параметров тренировочной нагрузки, необходимый для формирования программ и методик спортивной подготовки. Разработке разных способов его оценки были посвящены в последние десятилетия многие исследования отечественных и зарубежных авторов [1–9]. Для определения (расчета) интенсивности упражнения в лабораторных условиях обычно используют показатели уровня кислородного запроса, его составляющих и значения концентрации лактата из капиллярной крови [10–18]. Но прямые измерения потребления кислорода и концентрации лактата (La) в крови не могут рутинно использоваться в тренировочной практике, так как нуждаются в дорогостоящем оборудовании, специалистах высокого уровня для проведения сложного анализа полученных данных и инвазивном вмешательстве. Это существенно снижает

доступность этих методов контроля функционального состояния спортсменов в ответ на физические нагрузки.

Частота сокращений сердца — наиболее легко регистрируемый физиологический показатель при мышечной работе, несущий обширную информацию о состоянии и функциональных возможностях организма. В настоящее время для измерения ЧСС в спорте и фитнесе используются кардиомониторы, позволяющие точно измерять пульсовые суммы.

На анализе динамики ЧСС во время работы и восстановления базируются весьма популярные тесты для оценки различных сторон работоспособности организма, такие как проба Летунова, проба Мастера, Гарвардский степ-тест, PWC_{170} , ИНПД и другие [4, 19, 20]. В тренировочной практике для оценки интенсивности нагрузки и ее регламентации обычно применяются абсолютные значения ЧСС, а также разнообразные методы, основанные на относительных значениях ЧСС, например метод

расчета относительного рабочего прироста ЧСС [22, 23], метод расчета ИНПД [4] и др.

Интенсивность накопления пульсового долга (ИНПД) — показатель, основанный на измерении частоты пульса в восстановительном периоде. По своему физиологическому смыслу ИНПД близок к индексу Гарвардского степ-теста, но выгодно отличается тем, что позволяет оценить интенсивность физиологических затрат не только в строго дозированных нагрузках, но и в любом упражнении, выполняемом с большой (значения ИНПД приблизительно от 0 до 2), субмаксимальной (значения ИНПД приблизительно от 2 до 8) или максимальной (значения ИНПД приблизительно от 8 до 16) интенсивностью [21].

Удобство показателя ИНПД состоит в том, что он может выполнять сразу две функции: характеризовать интенсивность нагрузки и оценивать физическую работоспособность. При измерении ИНПД у одного и того же человека при разных нагрузках можно получить довольно точное представление о соотношении интенсивностей этих нагрузок. Если у разных людей измерить ИНПД при одинаковой мощности и длительности нагрузки, то можно получить индивидуальные характеристики работоспособности [21] и оценивать уровни ее развития в определенной зоне мощности.

Концентрация лактата является результатом взаимодействия аэробных и анаэробных процессов энергообеспечения во время выполнения работы. Скорость накопления лактата тесно взаимосвязана со скоростью образования кислородного запроса [22]. Предположительно, скорость накопления пульсового долга или ИНПД также взаимосвязана со скоростью образования кислородного запроса и накопления лактата.

В связи с актуальностью поиска объективных и относительно простых методов определения и оценки функциональных возможностей спортсменов нами было проведено исследование, целью которого явилось выявление взаимосвязей ИНПД со скоростью образования кислородного запроса и накопления лактата в крови при выполнении предельных циклических упражнений различной продолжительности.

2. Методы

Экспериментальная работа проводилась на базе ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта. Все исследования выполнены с соблюдением норм биомедицинской этики, программа исследования одобрена ЛЭК при ЦСТиСК Москомспорта (протокол № 12 от 27.01.2020 г.). Каждый испытуемый перед началом исследования давал письменное информированное согласие на участие во всех предусмотренных процедурах.

В исследовании участвовало 14 спортсменов-велосипедистов (1-й разряд, возраст — 20 ± 3 года, масса тела — $71,7 \pm 9,3$ кг). Все участники выполняли серию максимальных упражнений на велоэргометре LODE Excalibur Sport с предельной мощностью и фиксированной продолжительностью 10, 30, 60, 120,

360 и 1800 с, с отдыхом 1–2 дня между тестированиями. Максимальные упражнения продолжительностью 10 и 30 с спортсмены выполняли в режиме «вовсю», предельные упражнения 60, 120, 360 и 1800 с выполнялись с установкой проявить наибольшую производительность, которая им была доступна на момент тестирования. Все упражнения выполнялись в разные дни.

Перед каждым тестированием спортсмены выполняли стандартную разминку на велоэргометре (мощностью 1 Вт/кг, длительностью 5 мин.), после прекращения разминки спортсмен 5 минут сидел на велоэргометре, в это время фиксировался предстартовый уровень функциональных показателей. Функциональные показатели фиксировались также во время выполнения работы и по ее окончании, в процессе восстановления, в течение которого испытуемый оставался в положении сидя на велоэргометре 10 мин.

Предварительно, за 2–3 дня до начала серии максимальных тестов, каждый спортсмен выполнял рамп-тест на велоэргометре для определения МПК по единому протоколу: начальная мощность работы — 60 Вт, мощность равномерно повышалась на 15 Вт/мин, частота вращения педалей 70–75 оборотов. Во всех случаях работа продолжалась до отказа. Отказ фиксировали индивидуально по заявлению испытуемого или при явном снижении интенсивности нагрузки.

В процессе исследования регистрировали ЧСС с помощью датчиков «Polar H10», а также потребление кислорода, выделение углекислого газа, легочную вентиляцию с помощью газоанализатора «Cosmed Qark», который калибровали перед проведением каждого исследования. Данные усреднялись в пятисекундных интервалах.

Пульсовую сумму долга упражнения рассчитывали за первые 5 минут восстановления.

Концентрацию лактата определяли автоматическим анализатором «Biosen C-Line» перед упражнением, сразу по окончании работы и далее на 3, 5, 7, 10 минутах после окончания работы. Максимальная концентрация лактата в крови ($\max La$) фиксировалась на третьей или пятой минутах восстановления.

Статистический анализ данных проводился в среде R (версия 3.5.1) и с помощью MS Excel. Для исследования силы связи между показателями был использован корреляционный анализ по методу Спирмена. Нормальность распределения проверяли методом Шапиро — Уилка и с помощью визуальной оценки гистограмм распределения и их квантиль-квантиль графиков.

3. Вычисляемые показатели:

K_3 — кислородный запрос упражнения (л), рассчитывался как сумма кислородного прихода и кислородного долга:

$$K_3 = K_P + K_D \quad (\text{ф. 1}),$$

где: K_P — кислородный приход (л) — объем потребленного кислорода сверх предстартового уровня, рассчитанный за время выполнения упражнения;

КД — кислородный долг упражнения (л) — объем потребленного кислорода сверх предстартового уровня, рассчитанный за 10 мин. восстановления;

СОКЗ — скорость образования кислородного запроса (л/мин), рассчитывалась как отношение кислородного запроса ко времени работы:

$$\text{СОКЗ} = \text{КЗ} / t \quad (\text{ф. 2}),$$

где: КЗ — кислородный запрос упражнения (л);
 t — время работы (мин.).

СНКЛ — скорость накопления концентрации лактата (ммоль/л/мин), рассчитывалась как отношение разницы между зафиксированной максимальной и исходной концентрацией лактата, ко времени работы:

$$\text{СНКЛ} = \text{НКЛ}_x / t \quad (\text{ф. 3}).$$

ПД — пульсовой долг (уд) — пульсовая сумма сверх предстартового уровня, рассчитанная за 5 мин. восстановления;

$$\text{ПД} = 5 \times (\text{ЧСС}_{\text{ср}} - \text{ЧСС}_{\text{пр}}) \quad (\text{ф. 4}).$$

$\text{ЧСС}_{\text{ср}}$ — средняя частота сердечных сокращений за 5 мин. восстановления, уд/мин.;

$\text{ЧСС}_{\text{пр}}$ — предстартовая частота сердечных сокращений, уд/мин.

ИНПД — интенсивность накопления пульсового долга, рассчитывалась как отношение пульсового долга ко времени упражнения (с):

$$\text{ИНПД} = \text{ПД} / t_c \quad (\text{ф. 5}).$$

t_c — время работы (с).

В нашем исследовании во многих случаях мощность упражнений была выше критической (см. табл. 2). После окончания работы ЧСС восстанавливалась значительно дольше 5 мин., но наиболее быстрые изменения ЧСС

после окончания нагрузки завершались к пятой минуте восстановления, поэтому сумма пульсового долга рассчитывалась за 5 минут. В случае если спортсмен во время восстановления достигал предстартового уровня раньше, чем за 5 мин. по динамике ЧСС или 10 мин. по динамике потребления кислорода, то пульсовой и кислородный долг рассчитывали за реальное время восстановления.

4. Результаты исследования

В таблице 1 представлены антропометрические и максимальные функциональные показатели испытуемых, полученные в рампе-тесте на велоэргометре.

Показатели, рассчитанные по пульсовым суммам и по потреблению кислорода в упражнениях с предельной мощностью различной продолжительности, представлены в таблице 2.

В таблице 3 представлены данные корреляционного анализа функциональных показателей спортсменов.

Как видно из таблицы 3, скорость образования кислородного запроса (СОКЗ), скорость накопления лактата (СНКЛ) и ИНПД имеют тесную степенную взаимосвязь со временем выполнения предельного упражнения (соответственно: $r^2 = 0,84$, $r^2 = 0,91$, $r^2 = 0,96$, при $p < 0,05$). Данные показатели имеют тесную степенную взаимосвязь с относительной мощностью упражнения (соответственно: $r^2 = 0,80$, $r^2 = 0,86$, $r^2 = 0,90$, при $p < 0,05$). Величина ИНПД имеет тесную степенную взаимосвязь со скоростью образования кислородного запроса СОКЗ и скоростью накопления лактата СНКЛ (соответственно: $r^2 = 0,80$, $r^2 = 0,94$, при $p < 0,05$).

Разработана шкала ИНПД для ориентировочного определения мощности упражнения (см. рис.):

Таблица 1

Антропометрические и максимальные функциональные показатели спортсменов по результатам рампе-теста ($M \pm \sigma$, $n = 14$)

Table 1

Anthropometric and maximum functional indicators of athletes according to the results of the ramp test ($M \pm y$, $n = 14$)

Параметр	Размерность	$M \pm \sigma$, $n = 14$
Возраст	лет	$18,3 \pm 1,5$
Масса тела	кг	$72,2 \pm 8,04$
Длина тела	см	177 ± 12
МПК _{абс}	л/мин	$3,29 \pm 0,49$
МПК _{отн}	мл/кг/мин	$45,9 \pm 7,00$
ЧСС _{max}	уд/мин	188 ± 11
Абс. W_{max}	Вт	296 ± 33
Отн. W_{max}	Вт/кг	$4,11 \pm 0,35$

Примечание: МПК_{отн} — максимальное потребление кислорода, относительные значения; МПК_{абс} — максимальное потребление кислорода, абсолютные значения; ЧСС_{max} — значение максимальной ЧСС, зафиксированной в тесте; Абс. W_{max} — абсолютная максимальная мощность, достигнутая в тесте; Отн. W_{max} — относительная максимальная мощность, достигнутая в тесте.

Note: MOC_{rel} is the maximum oxygen consumption, relative values [ml/min/kg]; MOC_{abs} — maximum oxygen consumption, absolute values [l/min]; HR_{max} — the value of the maximum heart rate recorded in the test; $\text{Abs. } W_{\text{max}}$ is the absolute maximum power achieved in the test [W]; $\text{Rel. } W_{\text{max}}$ — relative maximum power achieved in the test [W/kg].

Таблица 2

Эргометрические и физиологические показатели, полученные в упражнениях с предельной мощностью различной продолжительности ($M \pm \sigma$, $n = 14$)

Table 2

Ergometric and physiological parameters obtained in exercises with maximum power of different duration ($M \pm \sigma$, $n = 14$)

Показатели	Размерность	Предельная продолжительность упражнения, с					
		10	30	60	120	360	1800
W _{ср}	Вт	740 ± 122	702 ± 104	561 ± 81	434 ± 70	333 ± 63	262 ± 37
Отн. W _{ср}	Вт/кг	10,3 ± 0,9	9,8 ± 0,7	7,8 ± 0,5	6,1 ± 0,6	4,7 ± 0,7	3,7 ± 0,4
КЗ	л	6,3 ± 1,5	8,1 ± 2,5	10,8 ± 2,5	14,6 ± 4,0	27,9 ± 6,8	108 ± 2,4
ПД	уд	159 ± 43	229 ± 73	265 ± 66	252 ± 69	255 ± 78	257 ± 78
La _{max}	ммоль/л	7,3 ± 1,9	15,1 ± 2,7	16,6 ± 2,5	16,1 ± 2,5	14,7 ± 2,8	7,2 ± 4,0
СОКЗ	л/мин	37,5 ± 8,8	16,3 ± 5,0	10,8 ± 2,5	7,3 ± 2,0	4,6 ± 1,1	3,6 ± 0,8
СНКЛ _x	ммоль/л/мин	32,9 ± 9,5	23,4 ± 5,7	13,0 ± 1,8	6,6 ± 1,5	2,0 ± 0,5	0,2 ± 0,1
ИНПД	уд/с	15,9 ± 4,4	7,6 ± 2,4	4,4 ± 1,1	2,1 ± 0,6	0,7 ± 0,2	0,1 ± 0,0

Таблица 3

Корреляционная матрица расчетных показателей ($n = 14$, $p < 0,05$)

Table 3

Correlation matrix of calculated indicators ($n = 14$, $p < 0.05$)

	t	Отн. W _{ср}	СНКЛ	СОКЗ	ИНПД
t	1,00				
Отн. W _{ср}	0,90	1,00			
СНКЛ	0,91	0,86	1,00		
СОКЗ	0,84	0,80	0,79	1,00	
ИНПД	0,96	0,90	0,94	0,80	1,00

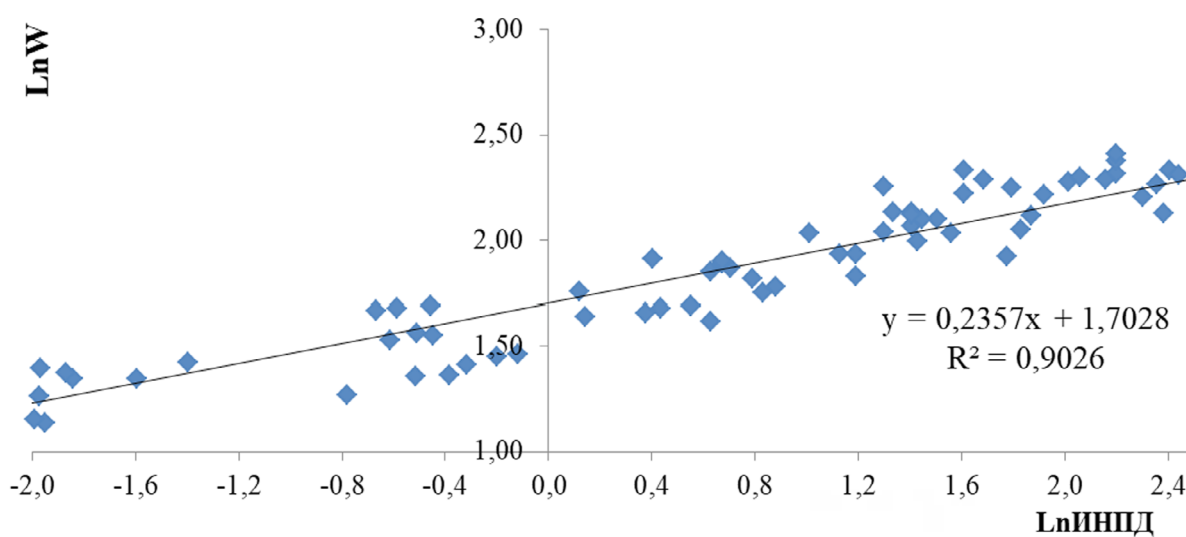


Рис. Шкала ИНПД для ориентировочного определения мощности упражнения. Значения ИНПД и относительной мощности прологарифмированы

Fig. The INPD scale for an approximate determination of the power of the exercise. The values of NIPD and relative power are taken as logarithms

5. Обсуждение

Внутриклеточные энергетические источники и физиологические механизмы, обеспечивающие их деятельность, тесно связаны между собой, составляя неразрывное единство. На клеточном уровне это проявляется в универсальной роли АДФ как регулятора деятельности энергетических источников. На уровне организма их единство определяется центральной ролью аэробных процессов в энергообеспечении. Такое органическое единство биохимически и физиологически различающихся процессов позволяет считать, что все они являются элементами единой системы энергообеспечения, которая охватывает все уровни организации — от клетки до организма — и в реальных условиях реагирует как единое целое [21]. В связи с этим количество ресинтезированной за время физической работы АТФ напрямую зависит от величины кислородного запроса [10, 12–18], и при интенсивных истощающих нагрузках в мышце имеется линейная зависимость между отношением АТФ/АДФ и содержанием лактата [23].

Кислородный запрос, пульсовые суммы и концентрация лактата отражают физиологические и энергетические затраты и с известным допущением характеризуют емкость энергетических механизмов, использованную во время физической работы. По этим показателям, без значений продолжительности работы, дифференцировать упражнения по интенсивности невозможно, т.к. кислородный запрос, пульсовые суммы, концентрация лактата в зависимости от продолжительности могут иметь одинаковые соответствующие величины при разной интенсивности нагрузки. Продолжительностью и интенсивностью упражнения

Вклад авторов:

Козлов Андрей Владимирович — сбор и обработка материала, статистический анализ, написание текста статьи.

Блеер Александр Николаевич — утверждение финальной версии статьи, редактирование.

Левушкин Сергей Петрович — утверждение финальной версии статьи, редактирование.

Сонькин Валентин Дмитриевич — написание текста статьи, редактирование.

Литература

1. **Karvonen M.J., Kentala E., Mustala O.** The effects of training on heart rate: a longitudinal study. *Ann. Med. Exp. Biol. Fenn.* 1957;35(3):307–315.
2. **Davis A., Convertino V.** A comparison of heart rate methods for predicting endurance training intensity. *Med. Sci. Sports.* 1975;(7):295–298.
3. **Banister E.W.** Modeling elite athletic performance. In: **McDougall J.D., Wenger H.A., Green H. J.** (eds.) *Physiological testing of the high-performance athlete.* Champaign, IL: Human Kinetics; 1991.
4. **Король В.М., Сонькин В.Д., Ратушная Л.И.** Мышечная работоспособность и частота сердечных сокращений у подростков в зависимости от уровня полового созревания. *Теория и практика физической культуры.* 1985;(8):27.

определяется, за счет каких поставщиков энергии она будет производиться, т.е. определяется относительный вклад метаболических путей, генерирующих АТФ, и скорость энергообеспечения [10, 14]. Только при вычислении соотношения затрат с продолжительностью работы появляются такие интегральные показатели, как СОКЗ, СНКЛ, ИНПД, позволяющие представлять (рассчитывать) уровень интенсивности нагрузки. При этом СОКЗ, СНКЛ и ИНПД тесно взаимосвязаны с мощностью упражнения и между собой. Это является основанием для использования простого для расчета показателя ИНПД в тренировочной практике для определения интенсивности физических нагрузок и их физиологической стоимости.

6. Выводы

1. Скорость образования кислородного запроса, скорость накопления лактата и ИНПД имеют тесную нелинейную (степенную) взаимосвязь со временем выполнения упражнения (соответственно: $r^2 = 0,84$, $r^2 = 0,91$, $r^2 = 0,96$, при $p < 0,05$) и с относительной мощностью упражнения (соответственно: $r^2 = 0,80$, $r^2 = 0,86$, $r^2 = 0,90$, при $p < 0,05$). Кроме того, величина ИНПД имеет тесную степенную взаимосвязь со скоростью образования кислородного запроса и скоростью накопления лактата (соответственно: $r^2 = 0,80$, $r^2 = 0,94$, при $p < 0,05$).

2. Результаты исследования позволяют использовать пульсометрический показатель ИНПД для достаточно надежного определения интенсивности упражнения, прогноза уровня накопления лактата и на этой основе — направленности упражнения и нормирования тренировочной нагрузки.

Author's contribution:

Andrey V. Kozlov — collection and processing of material, statistical analysis, article text writing.

Alexander N. Bleer — approval of the article final version, editing.

Sergey P. Levushkin — approval of the article final version, editing.

Valentin D. Sonkin — article text writing, editing.

References

1. **Karvonen M.J., Kentala E., Mustala O.** The effects of training on heart rate: a longitudinal study. *Ann. Med. Exp. Biol. Fenn.* 1957;35(3):307–315.
2. **Davis A., Convertino V.** A comparison of heart rate methods for predicting endurance training intensity. *Med. Sci. Sports.* 1975;(7):295–298.
3. **Banister E.W.** Modeling elite athletic performance. In: **McDougall J.D., Wenger H.A., Green H. J.** (eds.) *Physiological testing of the high-performance athlete.* Champaign, IL: Human Kinetics; 1991.
4. **Korol V.M., Sonkin V.D., Ratushnaya L.I.** Muscular performance and heart rate in adolescents depending on the level of puberty. *Teoriya i praktika fizicheskoy kultury = Theory and Practice of Physical Culture.* 1985;(8):27 (In Russ.).

5. Pettitt R.W., Pettitt C., Cabrera C.A., Murray S.R. A theoretical method of using heart rate to estimate energy expenditure during exercise. *Int. J. Sports Sci. Coach.* 2007;2(3):319–327. <https://doi.org/10.1260/174795407782233146>
6. Gillespie B.D., McCormick J.J., Mermier C.M., Gibson A.L. Talk test as a practical method to estimate exercise intensity in highly trained competitive male cyclists. *J. Strength Cond. Res.* 2015;29(4):894–898. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000711>
7. Thomson E.A., Nuss K., Comstock A., Reinwald S., Blake S., Pimentel R.E., et al. Heart rate measures from the apple watch, Fitbit charge HR 2, and electrocardiogram across different exercise intensities. *J. Sports Sci.* 2019;37(12):1411–1419. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1560644>
8. Shcherbina A., Mattsson C.M., Waggott D., Salisbury H., Christle J., Hastie T., et al. Accuracy in wrist-worn, sensor-based measurements of heart rate and energy expenditure in a diverse cohort. *J. Pers. Med.* 2017;7(2):3. <https://doi.org/10.3390/jpm7020003>
9. Yang L., Lu K., Forsman M., Lindecrantz K., Seoane F., Ekblom Ö., Eklund J. Evaluation of physiological workload assessment methods using heart rate and accelerometry for a smart wearable system. *Ergonomics.* 2019;62(5):694–705. <https://doi.org/10.1080/00140139.2019.1566579>
10. Hargreaves M., Spriet L.L. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nat. Metab.* 2020;2(9):817–828. <https://doi.org/10.1038/s42255-020-0251-4>
11. Matsuura H., Mukaino M., Otake Y., Kagaya H., Aoshima Y., Suzuki T., et al. Validity of simplified, calibration-less exercise intensity measurement using resting heart rate during sleep: a method-comparison study with respiratory gas analysis. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 2019;11:27. <https://doi.org/10.1186/s13102-019-0140-x>
12. Beam W.C., Adams G.M. Exercise physiology: Laboratory manual. 8th ed. New York: McGraw-Hill; 2019.
13. Kenney W.L., Wilmore J.H., Costill D.L. Physiology of sport and exercise. 7th ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2019.
14. Swanwick E., Matthews M. Energy systems: a new look at aerobic metabolism in stressful exercise. *MOJ. Sports Med.* 2018;2(1):15–22. <https://doi.org/10.15406/mojm.2018.02.00039>
15. Bertuzzi R., Melegati J., Bueno S., Ghiarone T., Pasqua L.A., Gáspari A.F., et al. GEDAE-LaB: A free software to calculate the energy system contributions during exercise. *PLoS ONE.* 2016;11(1):e0145733. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145733>
16. Волков Н.И., Олейников В.И. Биоэнергетика спорта. Москва: Советский спорт; 2011.
17. Волков Н.И., Савелев И.А. Кислородный запрос и энергетическая стоимость напряженной мышечной деятельности человека. *Физиология человека.* 2002;28(4):80–93.
18. Иссурий В.Б. Подготовка спортсменов XXI века: научные основы и построение тренировки. Москва: Спорт; 2019.
19. Master F.M., Jppenheimer E.T. A siple exercise tolerance test for circulation efficiency with standart tables for normal individuals. *Amer. J. Med. Sei.* 1929;177(2):223–243. <https://doi.org/10.1097/00000441-192902000-00010>
20. Летунов С. П., Мотылянская Р. Е. Определение состояния тренированности спортсменов. Проблемы спортивной медицины. В: Методы врачебно-физиологических исследований спортсменов: Сб. науч. тр. Москва: Физкультура и спорт; 1972. с. 6–70.
21. Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В. Развитие мышечной энергетики и работоспособности в онтогенезе. Москва: Книжный дом «ЛИБРОКОМ»; 2018.
5. Pettitt R.W., Pettitt C., Cabrera C.A., Murray S.R. A theoretical method of using heart rate to estimate energy expenditure during exercise. *Int. J. Sports Sci. Coach.* 2007;2(3):319–327. <https://doi.org/10.1260/174795407782233146>
6. Gillespie B.D., McCormick J.J., Mermier C.M., Gibson A.L. Talk test as a practical method to estimate exercise intensity in highly trained competitive male cyclists. *J. Strength Cond. Res.* 2015;29(4):894–898. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000711>
7. Thomson E.A., Nuss K., Comstock A., Reinwald S., Blake S., Pimentel R.E., et al. Heart rate measures from the apple watch, Fitbit charge HR 2, and electrocardiogram across different exercise intensities. *J. Sports Sci.* 2019;37(12):1411–1419. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1560644>
8. Shcherbina A., Mattsson C.M., Waggott D., Salisbury H., Christle J., Hastie T., et al. Accuracy in wrist-worn, sensor-based measurements of heart rate and energy expenditure in a diverse cohort. *J. Pers. Med.* 2017;7(2):3. <https://doi.org/10.3390/jpm7020003>
9. Yang L., Lu K., Forsman M., Lindecrantz K., Seoane F., Ekblom Ö., Eklund J. Evaluation of physiological workload assessment methods using heart rate and accelerometry for a smart wearable system. *Ergonomics.* 2019;62(5):694–705. <https://doi.org/10.1080/00140139.2019.1566579>
10. Hargreaves M., Spriet L.L. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nat. Metab.* 2020;2(9):817–828. <https://doi.org/10.1038/s42255-020-0251-4>
11. Matsuura H., Mukaino M., Otake Y., Kagaya H., Aoshima Y., Suzuki T., et al. Validity of simplified, calibration-less exercise intensity measurement using resting heart rate during sleep: a method-comparison study with respiratory gas analysis. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 2019;11:27. <https://doi.org/10.1186/s13102-019-0140-x>
12. Beam W.C., Adams G.M. Exercise physiology: Laboratory manual. 8th ed. New York: McGraw-Hill; 2019.
13. Kenney W.L., Wilmore J.H., Costill D.L. Physiology of sport and exercise. 7th ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2019.
14. Swanwick E., Matthews M. Energy systems: a new look at aerobic metabolism in stressful exercise. *MOJ. Sports Med.* 2018;2(1):15–22. <https://doi.org/10.15406/mojm.2018.02.00039>
15. Bertuzzi R., Melegati J., Bueno S., Ghiarone T., Pasqua L.A., Gáspari A.F., et al. GEDAE-LaB: A free software to calculate the energy system contributions during exercise. *PLoS ONE.* 2016;11(1):e0145733. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145733>
16. Volkov N.I., Oleinikov V.I. Bioenergetics of sports. Moscow: Sovetskii sport Publ.; 2011 (In Russ.).
17. Volkov N.I., Savelev I.A. Oxygen demand and energy cost of intense human muscular activity. *Fiziologiya Cheloveka = Human Physiology.* 2002;28(4):80–93 (In Russ.).
18. Issurin V.B. Training athletes of the XXI century: scientific foundations and construction of training. Moscow: Sport Publ.; 2019 (In Russ.).
19. Master F.M., Jppenheimer E.T. A siple exercise tolerance test for circulation efficiency with standart tables for normal individuals. *Amer. J. Med. Sei.* 1929;177(2):223–243. <https://doi.org/10.1097/00000441-192902000-00010>
20. Letunov S. P., Motylyanskaya R. E. Determination of the state of fitness of athletes. In: Problems of sports medicine. Methods of medical and physiological research of athletes: Sat. scientific tr. Moscow: Fizkul'tura i sport Publ.; 1972. p. 6–70 (In Russ.).
21. Sonkin V.D., Tambovtseva R.V. The development of muscle energy and performance in ontogeny. Moscow: LIBROKOM Publ.; 2018 (In Russ.).

22. Волков Н.И., Попов О.И., Габрысь Т., Шматлян-Габрысь У. Физиологические критерии нормирования тренировочных и соревновательных нагрузок в спорте высоких достижений. Физиология человека. 2005;31(5):125–134.

23. Harris R.C., Sahlin K., Hultman E. Phosphagen and lactate contents of m. quadriceps femoris of man after exercise. J. Appl. Physiol. 1977;43(5):852–857. <https://doi.org/10.1152/jap-pl.1977.43.5.852>

22. Volkov N.I., Popov O.I., Gabrys T., Shmatlyan-Gabrys U. Physiological criteria for normalizing training and competitive loads in high performance sports. Fiziologiya Cheloveka = Human Physiology. 2005;31(5):125–134 (In Russ.).

23. Harris R.C., Sahlin K., Hultman E. Phosphagen and lactate contents of m. quadriceps femoris of man after exercise. J. Appl. Physiol. 1977;43(5):852–857. <https://doi.org/10.1152/jap-pl.1977.43.5.852>

Сведения об авторах:

Козлов Андрей Владимирович, главный специалист Центра спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд Москомспорта, Россия, 129272, г. Москва, ул. Советской армии, д. 6 (89165363085a@mail.ru)

Блеер Александр Николаевич, д.п.н., профессор, член-корреспондент Российской академии образования, Россия, 119121, г. Москва, ул. Погодинская, д. 8 (box9999@list.ru)

Левушкин Сергей Петрович, д.б.н., профессор, директор НИИ спорта и спортивной медицины ФГБОУ ВО «Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (ГЦОЛИФК)», Россия, 105122, г. Москва, Сиреневый бульвар, д. 4, руководитель центра мониторинга ФГБНУ «Институт возрастной физиологии РАО», Россия, 119121, г. Москва, ул. Погодинская, д. 8 (levushkinsp@mail.ru)

Сонькин Валентин Дмитриевич, д.б.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории физиологии мышечной деятельности и физического воспитания ФГБНУ «Институт возрастной физиологии РАО», Россия, 119121, г. Москва, ул. Погодинская, д. 8 (sonkin@mail.ru)

Information about the authors:

Andrey V. Kozlov*, Center for sports innovative technologies and training of national teams of the Moscow Department of sports, 6, Sovetskoi armii str., Moscow, 129272, Russia (89165363085a@mail.ru)

Alexander N. Bleer, D.Sc. (Pedagogy), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Education, 8, Pogodinskaya str., Moscow, 119121, Russia (box9999@list.ru)

Sergey P. Levushkin, D.Sc. (Biology), Professor, Director of the Research Institute of Sports and Sports Medicine of the Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism, head of the monitoring center of the Institute of Developmental Physiology of the Russian Academy of Education, 8, Pogodinskaya str., Moscow, 119121, Russia (levushkinsp@mail.ru)

Valentin D. Sonkin, D.Sc. (Biology), Professor, Chief Researcher, Laboratory of Physiology of Muscular Activity and Physical Education of the Institute of Developmental Physiology of the Russian Academy of Education, 8, Pogodinskaya str., Moscow, 119121, Russia (sonkin@mail.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author