

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПУЛЬСОМЕТРИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ АНАЭРОБНОГО ВКЛАДА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СИЛОВЫХ УПРАЖНЕНИЙ С БИОХИМИЧЕСКИМИ МАРКЕРАМИ АНАЭРОБНОГО МЕТАБОЛИЗМА

Н.И. Аньшаков^{1,2}, anshakov.nikolya@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0004-6446-5410>

Р.В. Тамбовцева², ritta7@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0003-9709-599X>

А.В. Козлов¹, 89165363085a@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0007-2286-9451>

В.Д. Сонькин², sonkin@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3834-8080>

А.И. Лаптев², laptaleksej@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5931-1733>

¹ Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд, Москва, Россия

² Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, Россия

Аннотация. Цель: поиск неинвазивных пульсометрических маркеров, количественно отражающих объем внешней работы и вклад анаэробного энергообеспечения при выполнении силовых упражнений. **Материалы и методы.** 12 квалифицированных спортсменов (возраст – $20,6 \pm 4,6$ года, масса тела – $77,8 \pm 10,2$ кг, МПК – $49,3 \pm 6,1$ мл/мин/кг) выполняли в одном подходе предельное количество повторов в упражнениях «жим лежа», «приседание со штангой», «становая тяга» в режиме 100, 90, 80, 70, 60, 50 % от индивидуального одноповторного максимума (1ПМ). Регистрация параметров функций организма и физической нагрузки осуществлялась с использованием портативного эргоспирометра MetaLyzer, анализатора лактата Lactate Plus и линейного энкодера GymAware. **Результаты.** В упражнениях «жим лежа», «приседание со штангой» и «становая тяга» между газообменными и пульсометрическими показателями нагрузочной экспозиции (НЭ) установлены тесные линейные взаимосвязи (соответственно: $\rho = 0,85$, $\rho = 0,95$, $\rho = 0,92$). В упражнении «жим лежа» установлены умеренные линейные взаимосвязи НЭ, рассчитанной по кислороду и по ЧСС, с объемом внешней работы (соответственно: $\rho = 0,65$, $\rho = 0,66$), и высокие в упражнении «приседание со штангой» (соответственно: $\rho = 0,79$, $\rho = 0,89$) и «становая тяга» (соответственно: $\rho = 0,86$ и $\rho = 0,85$). Анаэробная составляющая НЭ, рассчитанная по кислороду и по ЧСС, в упражнении «жим лежа» умеренно линейно взаимосвязана с максимальным лактатом (соответственно: $\rho = 0,68$ и $\rho = 0,67$), сильно взаимосвязана – в «приседании со штангой» (соответственно: $\rho = 0,93$ и $\rho = 0,86$) и «становой тяге» (соответственно: $\rho = 0,82$ и $\rho = 0,82$). **Заключение.** Результаты исследования свидетельствуют о возможности использования пульсометрических показателей НЭ_{ЧСС} и НЭ_{анЧСС} в качестве неинвазивных маркеров для оценки объема внешней работы и величины накопленного лактата в упражнениях «приседание со штангой» и «становая тяга».

Ключевые слова: силовые упражнения, интенсивность энергозатрат, нагрузочная экспозиция, пульсометрические показатели, анаэробный вклад, энергообеспечение, лактат

Для цитирования: Взаимосвязь пульсометрического показателя анаэробного вклада при выполнении силовых упражнений с биохимическими маркерами анаэробного метаболизма / Н.И. Аньшаков, Р.В. Тамбовцева, А.В. Козлов и др. // Человек. Спорт. Медицина. 2026. Т. 26, № S1. С. 16–23. DOI: 10.14529/hsm26s102

THE RELATIONSHIP BETWEEN HEART RATE-BASED ANAEROBIC CONTRIBUTION AND BIOCHEMICAL MARKERS OF ANAEROBIC METABOLISM DURING STRENGTH EXERCISE

N.I. Anshakov^{1,2}, anshakov.nikolya@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0004-6446-5410>

R.V. Tambovtseva², ritta7@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0003-9709-599X>

A.V. Kozlov¹, 89165363085a@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0007-2286-9451>

V.D. Sonkin², sonkin@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3834-8080>

A.I. Laptev², laptaleksej@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5931-1733>

¹ Center for Sports Innovative Technologies and Training of National Teams, Moscow, Russia

² Russian University of Sport "GTSOLIFK", Moscow, Russia

Abstract. Aim: This study aims to identify non-invasive pulse-based markers that quantitatively reflect external work and the contribution of anaerobic metabolism during strength exercise. **Materials and methods.** The study involved twelve trained athletes (mean age: 20.6 ± 4.6 years; mean body mass: 77.8 ± 10.2 kg; mean $\dot{V}O_{2\max}$: 49.3 ± 6.1 ml/min/kg). In a single set, athletes performed the maximum number of repetitions in the bench press, barbell squat, and deadlift at 100, 90, 80, 70, 60, and 50% of their individual one-repetition maximum (1RM). Physiological parameters and exercise load were recorded using a portable MetaLyzer ergospirometer, a Lactate Plus lactate analyzer, and a GymAware linear encoder. **Results.** The bench press, barbell squat, and deadlift demonstrated strong linear relationships between gas exchange and heart rate parameters of load exposure (LE) ($\rho = 0.85$, $\rho = 0.95$, and $\rho = 0.92$, respectively). The bench press exhibited moderate linear correlations between LE calculated from oxygen and heart rate and external work ($\rho = 0.65$ and $\rho = 0.66$, respectively); whereas the barbell squat ($\rho = 0.79$ and $\rho = 0.89$, respectively) and deadlift ($\rho = 0.86$ and $\rho = 0.85$, respectively) showed strong correlations. The anaerobic component of LE calculated from oxygen and heart rate demonstrated a moderate linear relationship with maximal lactate in the bench press ($\rho = 0.68$ and $\rho = 0.67$, respectively), while very strong correlations were observed in the barbell squat ($\rho = 0.93$ and $\rho = 0.86$, respectively) and deadlift ($\rho = 0.82$ and $\rho = 0.82$, respectively). **Conclusion.** These findings demonstrate the potential of using heart rate-based load exposure (LE_{HR}) and heart rate-based anaerobic load exposure (LE_{ANHR}) as non-invasive markers for assessing external work and accumulated lactate during the barbell squat and deadlift.

Keywords: strength exercise, energy cost, load exposure, heart rate parameters, anaerobic contribution, energy supply, lactate

For citation: Anshakov N.I., Tambovtseva R.V., Kozlov A.V., Sonkin V.D., Laptev A.I. The relationship between heart rate-based anaerobic contribution and biochemical markers of anaerobic metabolism during strength exercise. *Human. Sport. Medicine*. 2026;26(S1):16–23. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm26s102

Введение. Физиологическая и биохимическая направленность адаптационных реакций зависит от энергетического стресса, который испытывает организм спортсмена в ответ на физическую нагрузку. В качестве интегральных маркеров энергетического стресса (острое нарушение гомеостаза [5]) при циклической и силовой работе используются объем и скорость потребления O_2 , величина концентрации лактата ($[La^-]$) и pH в крови [3].

В тренировочной практике для оценки и контроля циклической нагрузки измеряют ЧСС. В работе [2] было установлено, что в циклических нагрузках различной интенсивности расчетные пульсовые показатели отражают объем и интенсивность физической работы, а также величину концентрации лактата в капиллярной крови.

В связи с этим актуальной задачей в данном исследовании является проверка возможности применения в силовых упражнениях пульсометрических методов оценки трудоемкости нагрузки.

Цель исследования – поиск неинвазивных пульсометрических маркеров, количественно отражающих объем внешней работы и вклад анаэробного энергообеспечения при выполнении силовых упражнений.

Материалы и методы. Исследование выполнено в строгом соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (редакция 2013 г.) и одобрено локальным этическим комитетом. Участие в исследовании осуществлялось после предоставления участниками письменного информированного добровольного согласия.

В экспериментальной работе на базе РУС «ГЦОЛИФК» участвовали 12 квалифицированных спортсменов-единоборцев (возраст – $20,6 \pm 4,6$ года, масса тела – $77,8 \pm 10,2$ кг, МПК – $49,3 \pm 6,1$ мл/мин/кг). Подробное описание протоколов тестирования, методов измерений, статистической обработки данных, а также методика расчёта показателей физической нагрузки на основе биохимических,

физиологических и эргометрических параметров приведены в ранее опубликованных статьях [1, 2].

Результаты. В табл. 1 представлены эргометрические и физиологические показатели, рассчитанные по пульсовым суммам и по объемам потребленного O_2 при выполнении силовых упражнений в режиме 100, 90, 80, 70, 60, 50 % от 1 ПМ.

Таблица 1
Table 1

Эргометрические и физиологические показатели исследования ($M \pm \sigma$) ($n = 72$)
Ergometric and physiological parameters ($M \pm \sigma$) ($n = 72$)

Показатель Parameter	% от 1 ПМ / % of 1 RM					
	100	90	80	70	60	50
Жим лежа / Bench press						
Вес штанги, кг BB weight, kg	81 ± 16	72 ± 14	65 ± 13	57 ± 11	49 ± 10	40 ± 8
n, количество повторений n, number of repetitions	1 ± 0	4 ± 1	8 ± 2	15 ± 2	21 ± 4	30 ± 2
h, м / h, m	$0,36 \pm 0,0$	$0,36 \pm 0,0$	$0,37 \pm 0,0$	$0,36 \pm 0,1$	$0,37 \pm 0,0$	$0,37 \pm 0,1$
t, мин / t, min	$0,1 \pm 0,0$	$0,2 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$	$0,76 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,2$
pO_2 , л / VO_{2work} , L	$0,04 \pm 0,0$	$0,1 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,2$	$0,7 \pm 0,2$
VO_2 , л / VO_{2rec} , L	$1,2 \pm 0,5$	$1,8 \pm 0,7$	$2,0 \pm 0,7$	$2,3 \pm 0,8$	$2,5 \pm 0,9$	$2,7 \pm 1,0$
PC_{p_2} уд. / $HR_{sum-work}$, bpm	$3,6 \pm 1,0$	$13,7 \pm 7$	$24,6 \pm 9$	$38,9 \pm 10$	$50,0 \pm 17$	$73,4 \pm 18$
PC_{B_2} уд. / $HR_{sum-rec}$, bpm	118 ± 47	160 ± 62	182 ± 41	200 ± 54	207 ± 45	224 ± 49
УИФЗ O_2 , у. е. SIPEC- O_2 , arb. units	$6,0 \pm 2,6$	$2,6 \pm 1,0$	$1,6 \pm 0,6$	$1,3 \pm 0,5$	$1,1 \pm 0,4$	$0,9 \pm 0,3$
УИФЗ $_{чсс}$, у. е. SIPEC- HR , arb. units	$13,6 \pm 5,1$	$5,9 \pm 2,0$	$3,8 \pm 0,9$	$2,9 \pm 0,7$	$2,5 \pm 0,5$	$2,2 \pm 0,4$
АнВ O_2 , % / АнС- O_2 , %	97 ± 1	$92 \pm 2,5$	$88 \pm 2,5$	$83 \pm 4,2$	81 ± 5	$75 \pm 4,2$
АнВ PC , % / АнС- HR , %	97 ± 1	94 ± 3	89 ± 5	85 ± 4	82 ± 4	80 ± 4
максЛа, ммоль/л Lactate $_{max}$, mmol/L	$2,04 \pm 1,8$	$3,5 \pm 0,6$	$4,5 \pm 0,6$	$5,6 \pm 0,5$	$6,2 \pm 0,8$	$6,9 \pm 0,7$
СДЛА, ммоль/л/мин $V\Delta La$, mmol/L/s	$15,5 \pm 2,0$	$11,3 \pm 1,8$	$8,7 \pm 1,5$	$7,3 \pm 0,8$	$6,6 \pm 1,0$	$5,8 \pm 0,9$
Приседание со штангой / Barbell squat						
Вес штанги, кг BB weight, kg	111 ± 25	100 ± 23	89 ± 20	78 ± 17	66 ± 15	55 ± 13
n, количество повторений n, number of repetitions	1 ± 0	7 ± 2	12 ± 3	22 ± 5	33 ± 4	49 ± 10
t, мин / t, min	$0,1 \pm 0,0$	$0,4 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,4$
h, м / h, m	$0,53 \pm 0,1$	$0,52 \pm 0,1$	$0,53 \pm 0,1$	$0,53 \pm 0,1$	$0,53 \pm 0,1$	$0,54 \pm 0,1$
pO_2 , л / VO_{2work} , L	$0,04 \pm 0,0$	$0,3 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,4$	$1,5 \pm 0,3$	$2,3 \pm 0,5$	$3,7 \pm 0,8$
VO_2 , л / VO_{2rec} , L	$1,7 \pm 0,6$	$3,3 \pm 0,7$	$3,8 \pm 0,6$	$4,5 \pm 0,7$	$4,6 \pm 0,8$	$5,0 \pm 0,8$
PC_{p_2} уд. / $HR_{sum-work}$, bpm	5 ± 2	32 ± 13	55 ± 16	97 ± 18	136 ± 29	208 ± 39
PC_{B_2} уд. / $HR_{sum-rec}$, bpm	138 ± 44	$220 \pm 32,3$	256 ± 43	292 ± 38	301 ± 51	344 ± 37
УИФЗ O_2 , у. е. SIPEC- O_2 , arb. units	$6,9 \pm 2,3$	$2,8 \pm 0,7$	$2,0 \pm 0,5$	$1,6 \pm 0,4$	$1,4 \pm 0,3$	$1,2 \pm 0,3$
УИФЗ $_{чсс}$, у. е. SIPEC- HR , arb. units	$15,0 \pm 5,1$	$5,0 \pm 1,2$	$3,5 \pm 0,8$	$2,7 \pm 0,4$	$2,3 \pm 0,3$	$2,0 \pm 0,3$
АнВ O_2 , % / АнС- O_2 , %	98 ± 1	92 ± 4	84 ± 7	75 ± 5	67 ± 6	58 ± 8
АнВ PC , % / АнС- HR , %	96 ± 2	88 ± 4	83 ± 3	75 ± 3	69 ± 4	62 ± 5
максЛа, ммоль/л Lactate $_{max}$, mmol/L	$2,1 \pm 0,5$	$4,3 \pm 0,9$	$5,7 \pm 0,9$	$7,9 \pm 1,6$	$9,2 \pm 2,0$	$10,9 \pm 2,1$
СДЛА, ммоль/л/мин $V\Delta La$, mmol/L/s	$14,5 \pm 2,0$	$8,5 \pm 2,0$	$7,1 \pm 1,7$	$6,3 \pm 1,4$	$5,6 \pm 1,4$	$4,9 \pm 1,3$

Окончание табл. 1
Table 1 (end)

Показатель Parameter	% от 1 ПМ / % of 1 RM					
	100	90	80	70	60	50
Становая тяга / Deadlift						
Вес штанги, кг BB weight, kg	123 ± 25	111 ± 22	98 ± 20	86 ± 17	74 ± 14	61 ± 12
n, количество повторений n, number of repetitions	1 ± 0	6 ± 3	12 ± 5	17 ± 6	25 ± 6	36 ± 7
t, мин / t, min	0,07 ± 0,01	0,33 ± 0,12	0,57 ± 0,16	0,78 ± 0,21	1,06 ± 0,25	1,44 ± 0,26
h, м / h, m	0,56 ± 0,1	0,55 ± 0,1	0,55 ± 0,1	0,56 ± 0,1	0,55 ± 0,1	0,55 ± 0,1
pO ₂ , л / VO _{2work} , L	0,04 ± 0,02	0,2 ± 0,1	0,5 ± 0,2	0,9 ± 0,5	1,5 ± 0,6	2,4 ± 0,8
вO ₂ , л / VO _{2rec} , L	1,6 ± 0,6	3,1 ± 1,0	3,9 ± 1,0	4,2 ± 1,0	4,5 ± 0,9	4,8 ± 0,9
ПС _р , уд. / HR _{sum-work} , bpm	4 ± 1	22 ± 9	41 ± 14	63 ± 24	92 ± 23	134 ± 33
ПС _в , уд. / HR _{sum-rec} , bpm	136 ± 41	201 ± 53	243 ± 41	261 ± 41	281 ± 37	300 ± 41
УИФЗ _{O₂} , у. е. SIPEC-O ₂ , arb. units	6,3 ± 2,1	3,0 ± 1,3	2,3 ± 0,5	1,9 ± 0,5	1,7 ± 0,4	1,4 ± 0,3
УИФЗ _{чсс} , у. е. SIPEC-HR, arb. units	14,6 ± 5,7	5,6 ± 2,5	3,8 ± 0,9	3,2 ± 0,8	2,7 ± 0,5	2,3 ± 0,4
АнВ _{O₂} , % / АнС _{-O₂} , %	97 ± 1	94 ± 3	89 ± 5	83 ± 7	75 ± 8	67 ± 7
АнВ _{ПС} , % / АнС _{-HR} , %	93 ± 4	85 ± 6	81 ± 7	78 ± 5	70 ± 6	65 ± 6
максЛа, ммоль/л Lactate _{max} , mmol/L	2,2 ± 0,4	4,1 ± 1,0	5,4 ± 1,2	6,6 ± 1,9	7,7 ± 1,9	9,1 ± 2,1
СДЛа, ммоль/л/мин VΔLa, mmol/L/s	14,5 ± 2,0	9,1 ± 2,5	7,5 ± 1,9	6,9 ± 1,8	6,2 ± 1,4	5,5 ± 1,2

Примечания: вес_{шт.} – вес штанги, t – продолжительность упражнения, n – количество повторов, h – перемещение штанги в фазе подъема (м), pO₂ и вO₂ – объёмы потребленного кислорода во время работы и восстановления (соответственно), ПС_р и ПС_в – пульсовые суммы работы и восстановления, УИФЗ_{O₂} и УИФЗ_{чсс} – удельная интенсивность физиологических затрат, рассчитанная по потреблению O₂ и ЧСС, АнВ_{ПС} и АнВ_{O₂} – вклад анаэробных процессов в энергообеспечение работы, рассчитанный по потреблению O₂ и ЧСС, VΔLa – скорость накопления лактата.

Notes: BB weight – barbell weight, t – exercise duration, n – number of repetitions, h – barbell displacement in the lifting phase (m), VO_{2work} and VO_{2rec} – oxygen uptake during work and recovery, respectively, HR_{sum-work} and HR_{sum-rec} – heart rate sum during work and recovery, SIPEC-O₂ and SIPEC-HR – specific intensity of physiological cost calculated based on oxygen uptake and heart rate, respectively, АнС_{-HR} and АнС_{-O₂} – anaerobic contribution to energy supply calculated based on oxygen uptake and heart rate, VΔLa – lactate accumulation rate.

В табл. 1 показано, что при выполнении силовых упражнений с уменьшением веса штанги и увеличением при этом продолжительности упражнения (т. е. понижении его интенсивности) УИФЗ, АнВ снижаются. С уменьшением веса штанги снижается прилагаемое усилие и с этим – окклюзия мышечных сосудов, т. е. упражнение выполняется в более аэробных условиях, что подтверждается снижением при этом СДЛа. Однако максЛа при этом повышается, так как отражает не относительный (в отличие от АнВ), а абсолютный анаэробный вклад, растущий с увеличением продолжительности упражнения.

В табл. 2 представлены взаимосвязи относительного анаэробного вклада (АнВ), рассчитанного по потреблению O₂ и ЧСС, со СДЛа при выполнении силовых упражнений в режиме 100, 90, 80, 70, 60, 50 % от 1ПМ.

Как показано в табл. 2, АнВ_{ПС} имеет тесные линейные взаимосвязи с аналогичным показателем, рассчитанным по потреблению O₂, и тесные экспоненциальные взаимосвязи со СнЛа (см. табл. 2) во всех упражнениях. Очевидно, что с повышением нагрузки (% от 1 ПМ) лактат накапливается быстрее, так как с повышением веса штанги непропорционально снижается продолжительность упражнения и с этим – время для развертывания аэробных процессов.

Предложенный нами для оценки силовых упражнений пульсометрический показатель нагрузочной экспозиции основан на концепции [4], адаптированной к спортивной физиологии [7]. В отличие от внешней работы, НЭ выражает объем физиологической работы в единицах времени, что соответствует современным подходам к мониторингу трениро-

вочного стресса [6]. Для каждого упражнения были рассчитаны механическая работа (А) и физиологические показатели упражнения, отражающие объем внешней работы и вклад анаэробного энергообеспечения – НЭ, НЭан соответственно (табл. 3).

Представленные в табл. 3 внешняя работа

(А), одноименные показатели НЭ и НЭан повышаются с увеличением продолжительности упражнения (с уменьшением веса штанги), при этом показатели, рассчитанные по ЧСС, оказываются выше аналогичных, рассчитанных по O_2 . Причина этого, вероятно, в том, что в отличие от O_2 , который отражает только

Таблица 2
Table 2

Взаимосвязи (ρ, r) между $АВ_{O_2}$, $АВ_{ЧСС}$ и $СДЛа$ (n = 72)
Correlations (ρ, r) between $АВ_{O_2}$, $АВ_{ЧСС}$, and $ВДЛа$ (n = 72)

Показатель / Parameter	$АВ_{O_2} / АН_{C-O_2}$	$СДЛа / ВДЛа$
Жим лежа / Bench press		
$АВ_{O_2} / АН_{C-O_2}$	1,00	0,88*
$АВ_{ЧСС} / АН_{C-HR}$	0,77	0,86*
Приседание со штангой / Barbell squat		
$АВ_{O_2} / АН_{C-O_2}$	1,00	0,80*
$АВ_{ЧСС} / АН_{C-HR}$	0,97	0,81*
Становая тяга / Deadlift		
$АВ_{O_2} / АН_{C-O_2}$	1,00	0,80*
$АВ_{ЧСС} / АН_{C-HR}$	0,96	0,80*

* Экспоненциальный характер зависимости.

* Exponential dependence.

Таблица 3
Table 3

Внешняя работа и физиологические показатели нагрузки ($M \pm \sigma$) (n = 72)
External work and physiological load parameters ($M \pm \sigma$) (n = 72)

Показатель / Parameter	Жим лежа / Bench press					
	100 %	90 %	80 %	70 %	60 %	50 %
А, кГм / A, kgm	29 ± 6	103 ± 43	198 ± 50	294 ± 78	380 ± 98	446 ± 94
$НЭ_{ЧСС}$, мин / LE_{HR} , min	0,9 ± 0,3	1,2 ± 0,4	1,5 ± 0,3	1,8 ± 0,3	1,9 ± 0,4	2,1 ± 0,4
$НЭ_{O_2}$, мин / LE_{O_2} , min	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,2	0,6 ± 0,2	0,7 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,3
$НЭан_{ЧСС}$, мин / $LEан_{HR}$, min	0,9 ± 0,3	1,1 ± 0,4	1,3 ± 0,3	1,49 ± 0,3	1,51 ± 0,4	1,6 ± 0,3
$НЭан_{O_2}$, мин / $LEан_{O_2}$, min	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,2	0,6 ± 0,2	0,65 ± 0,2	0,68 ± 0,2	0,75 ± 0,2
Становая тяга / Deadlift						
А, кГм / A, kgm	69 ± 17	334 ± 125	603 ± 232	809 ± 291	983 ± 296	1197 ± 340
$НЭ_{ЧСС}$, мин / LE_{HR} , min	0,3 ± 0,1	0,9 ± 0,3	1,4 ± 0,6	1,8 ± 0,5	2,0 ± 0,5	2,5 ± 0,3
$НЭ_{O_2}$, мин / LE_{O_2} , min	0,4 ± 0,2	0,9 ± 0,3	1,2 ± 0,3	1,4 ± 0,3	1,7 ± 0,4	2,0 ± 0,4
$НЭан_{ЧСС}$, мин / $LEан_{HR}$, min	1,0 ± 0,3	1,4 ± 0,4	1,7 ± 0,3	1,9 ± 0,2	2,0 ± 0,3	2,2 ± 0,3
$НЭан_{O_2}$, мин / $LEан_{O_2}$, min	0,4 ± 0,2	0,9 ± 0,3	1,1 ± 0,3	1,2 ± 0,3	1,3 ± 0,3	1,4 ± 0,3
Приседание со штангой / Barbell squat						
А, кГм / A, kgm	59 ± 13	345 ± 119	562 ± 150	890 ± 178	1122 ± 251	1402 ± 310
$НЭ_{ЧСС}$, мин / LE_{HR} , min	1,1 ± 0,4	1,9 ± 0,4	2,3 ± 0,3	2,8 ± 0,4	3,3 ± 0,4	4,0 ± 0,5
$НЭ_{O_2}$, мин / LE_{O_2} , min	0,5 ± 0,2	1,0 ± 0,3	1,3 ± 0,3	1,7 ± 0,3	2,0 ± 0,4	2,5 ± 0,4
$НЭан_{ЧСС}$, мин / $LEан_{HR}$, min	1,1 ± 0,4	1,6 ± 0,3	1,9 ± 0,3	2,1 ± 0,3	2,3 ± 0,3	2,5 ± 0,3
$НЭан_{O_2}$, мин / $LEан_{O_2}$, min	0,5 ± 0,2	0,9 ± 0,2	1,1 ± 0,2	1,3 ± 0,3	1,3 ± 0,3	1,4 ± 0,3

Примечание: А – внешняя механическая работа, выполненная в упражнении; $НЭ_{O_2}$ – нагрузочная экспозиция в упражнении, рассчитанная по O_2 ; $НЭ_{ЧСС}$ – нагрузочная экспозиция в упражнении, рассчитанная по ЧСС; $НЭан_{O_2}$ – анаэробная часть нагрузочной экспозиции, рассчитанная по O_2 ; $НЭан_{ЧСС}$ – анаэробная часть нагрузочной экспозиции, рассчитанная по ЧСС.

Note: А – external mechanical work performed during the exercise; LE_{O_2} – exercise load exposure based on O_2 ; LE_{HR} – exercise load exposure based on HR; $LEан_{O_2}$ – anaerobic portion of load exposure based on O_2 ; $LEан_{HR}$ – anaerobic portion of load exposure based on HR.

Таблица 4

Table 4

Взаимосвязи (ρ , r) между H_{O_2} , $H_{ЧСС}$ и механической работой ($n = 72$)
Correlations (ρ , r) between LE_{O_2} , LE_{HR} , and mechanical work ($n = 72$)

Показатель / Parameter	H_{O_2} / LE_{O_2}	A
Жим лежа / Bench press		
H_{O_2} / LE_{O_2}	1,00	0,65
$H_{ЧСС} / LE_{HR}$	0,85	0,66
Приседание со штангой / Barbell squat		
H_{O_2} / LE_{O_2}	1,00	0,79
$H_{ЧСС} / LE_{HR}$	0,95	0,89
Становая тяга / Deadlift		
H_{O_2} / LE_{O_2}	1,00	0,86
$H_{ЧСС} / LE_{HR}$	0,92	0,85

Таблица 5

Table 5

Взаимосвязи (ρ , r) между анаэробной частью нагрузочной экспозиции
(H_{AnO_2} и $H_{AnЧСС}$) и максЛа в упражнениях ($n = 72$)
Correlations (ρ , r) between the anaerobic portion of load exposure
(LE_{AnO_2} and LE_{AnHR}) and maxLa in exercises ($n = 72$)

Показатель / Parameter	H_{AnO_2} / LE_{AnO_2}	максЛа / maxLa
Жим лежа / Bench press		
H_{AnO_2} / LE_{AnO_2}	1,00	0,68
$H_{AnЧСС} / LE_{AnHR}$	0,76	0,67
Приседание со штангой / Barbell squat		
H_{AnO_2} / LE_{AnO_2}	1,00	0,93
$H_{AnЧСС} / LE_{AnHR}$	0,91	0,86
Становая тяга / Deadlift		
H_{AnO_2} / LE_{AnO_2}	1,00	0,82
$H_{AnЧСС} / LE_{AnHR}$	0,84	0,82

энергетические затраты, ЧСС отражает комплексный характер хронотропного ответа на нагрузку [2].

В табл. 4 представлены результаты анализа взаимосвязей H_{O_2} , рассчитанные по потреблению O_2 и ЧСС, и A при выполнении силовых упражнений в режиме 100, 90, 80, 70, 60, 50 % от 1ПМ.

Результаты анализа показывают, что в упражнении «жим лежа» установлена умеренная линейная взаимосвязь H_{O_2} с A, а в упражнениях «приседание со штангой» и «становая тяга» – тесная линейная взаимосвязь этих показателей. Между одноименными показателями H_{O_2} во всех упражнениях выявлены тесные линейные взаимосвязи.

В табл. 5 представлены результаты анализа взаимосвязей максЛа и H_{An} , рассчитанные по потреблению O_2 и ЧСС, при выполнении силовых упражнений в режиме 100, 90, 80, 70, 60, 50 % от 1ПМ.

Показатели H_{AnO_2} и $H_{AnЧСС}$ в табл. 5 в упражнениях «приседание со штангой» и

«становая тяга» демонстрируют тесные линейные взаимосвязи друг с другом и с максЛа. При этом взаимосвязи H_{AnO_2} и $H_{AnЧСС}$ с максЛа в упражнении «жим лежа» – значительно ниже. Вероятно, в «жиме лежа» более низкие взаимосвязи H_{AnO_2} и $H_{AnЧСС}$ с максЛа обусловлены биомеханикой упражнения – из-за меньшего объема работающих мышц (по сравнению с другими упражнениями), локального метаболизма и менее выраженного системного стресса. В упражнениях «приседание со штангой» и «становая тяга», напротив, задействована практически вся мышечная масса, при этом возникает сильный системный метаболический отклик с более четкой взаимосвязью между лактатом, потреблением O_2 и ЧСС (на основе которой рассчитывались пульсометрические показатели) как в работе, так и в восстановлении, тем более что предельная продолжительность упражнений «приседание со штангой» и «становая тяга» практически во всех подходах была значительно выше, чем в «жиме лежа».

Заключение. Проведенное исследование позволило достичь поставленной цели – выявить неинвазивные пульсометрические маркеры, количественно отражающие объем внешней работы и вклад анаэробного энергообеспечения при выполнении силовых упражнений. Используемая в нашем исследовании модель силовой нагрузки позволяет, с одной стороны, реализовать циклическую кинематику, а с другой – количественно определять объем выполненной работы. Первое позволяет применять для оценки физиологической стоимости нагрузки предложенный ранее для циклических видов спорта подход с расчетом, основанным на ЧСС [1]. Второе позволяет по физиологическим параметрам силовой нагрузки сопоставить биомеханически разные упражнения: «жим лежа» – региональная нагрузка, преимущественно на плечевой пояс; «становая тяга» и «приседания со штангой» – глобальные нагрузки. При этом

оказывается, что биомеханический паттерн упражнения во многом определяет степень согласованности пульсометрических показателей с их кислородными аналогами, при сохранении общей тенденции – линейности взаимосвязи между пульсометрическими и кислородными показателями нагрузочной экспозиции, а также анаэробной части нагрузочной экспозиции с накоплением лактата.

Результаты исследования свидетельствуют о возможности использования пульсометрических показателей НЭЧСС и НЭанЧСС в качестве неинвазивных маркеров для оценки объема внешней работы и величины накопленного лактата (соответственно) в глобальных упражнениях, таких как «приседание со штангой» и «становая тяга». При этом уровень пульсометрических показателей оказывается выше, чем уровень аналогичных кислородных показателей, что согласуется с результатами, полученными ранее [2].

Список литературы

1. Исследование взаимосвязи пульсометрических индикаторов и концентрации лактата в крови в зависимости от режима выполнения силового упражнения / Н.И. Аньшаков, Р.В. Тамбовцева, Г.А. Хайретдинова, А.В. Козлов // Спорт – дорога к миру между народами: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2025. – С. 14–18.
2. Пульсометрические маркеры объема выполненной механической работы и концентрации лактата крови в циклических упражнениях различной мощности / А.В. Козлов, Н.И. Аньшаков, А.С. Сергеев и др. // Физиология человека. – 2026. – Т. 52, № 1. – С. 143–160.
3. Brooks, G.A. *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications* / G.A. Brooks, T.D. Fahey, K.M. Baldwin. – 4th ed. – New York: McGraw-Hill, 2005.
4. Kriebel, D. *Exposure and dose modelling in occupational epidemiology* / D. Kriebel, H. Checkoway, N. Pearce // *Occup. Environ. Med.* – 2007. – Vol. 64, No. 7. – P. 492–497. DOI: 10.1136/oem.2006.030189
5. Richter, E.A. *AMPK and the biochemistry of exercise: implications for human health and disease* / E.A. Richter, N.B. Ruderman // *Biochem. J.* – 2009. – Vol. 418, No. 2. – P. 261–275. DOI: 10.1042/BJ20082055
6. *Training load quantification of high intensity exercises: discrepancies between original and alternative methods* / F.D. Desgorces, T. Driss, B. Salouami et al. // *PLoS One*. – 2020. – Vol. 15, No. 8. – P. e0237027. DOI: 10.1371/journal.pone.0237027
7. *Understanding Training Load as Exposure and Dose* / F.M. Impellizzeri, I. Shrier, S.J. McLaren et al. // *Sports Medicine*. – 2023. – Vol. 53, No. 9. – P. 1667–1679. DOI: 10.1007/s40279-023-01833-0

References

1. Anshakov N.I., Tambovtseva R.V., Khairtdinova G.A., Kozlov A.V. [Study of the Relationship between Heart Rate Indicators and Blood Lactate Concentration Depending on the Mode of Strength Exercise Performance]. *Sport – doroga k miru mezhdunar. materialy IX Mezhdunar. nauch.-prakt. conf.* [Sport – a Path to Peace Among Nations. Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference], 2025, pp. 14–18. (in Russ.)
2. Kozlov A.V., An'shakov N.I., Sergeev A.S. et al. [Heart Rate Markers of the Volume of Performed Mechanical Work and Blood Lactate Concentration in Cyclic Exercises of Different Power]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2026, vol. 52, no. 1, pp. 143–160. (in Russ.)
3. Brooks G.A., Fahey T.D., Baldwin K.M. *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2005.

4. Kriebel D., Checkoway H., Pearce N. Exposure and Dose Modelling in Occupational Epidemiology. *Occup. Environ. Med.*, 2007, vol. 64, no. 7, pp. 492–497. DOI: 10.1136/oem.2006.030189
5. Richter E.A., Ruderman N.B. AMPK and the Biochemistry of Exercise: Implications for Human Health and Disease. *Biochem. J.*, 2009, vol. 418, no. 2, pp. 261–275. DOI: 10.1042/BJ20082055
6. Desgorges F.D., Driss T., Salouami B. et al. Training Load Quantification of High Intensity Exercises: Discrepancies between Original and Alternative Methods. *PLoS One*, 2020, vol. 15, no. 8, e0237027. DOI: 10.1371/journal.pone.0237027
7. Impellizzeri F.M., Shrier I., McLaren S.J. et al. Understanding Training Load as Exposure and Dose. *Sports Med.*, 2023, vol. 53, no. 9, pp. 1667–1679. DOI: 10.1007/s40279-023-01833-0

Информация об авторах

Аньшаков Николай Иванович, аспирант кафедры биохимии и биоэнергетики спорта им. Н.И. Волкова, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, Россия; аналитик отдела функциональной подготовки спортсменов, Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд, Москва, Россия.

Тамбовцева Ритта Викторовна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой биохимии и биоэнергетики спорта им. Н.И. Волкова, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, Россия.

Козлов Андрей Владимирович, кандидат биологических наук, аналитик отдела функциональной подготовки спортсменов, Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд, Москва, Россия.

Сонькин Валентин Дмитриевич, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры физиологии, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, Россия.

Лаптев Алексей Иванович, кандидат педагогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института спорта и спортивной медицины, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, Россия.

Information about the authors

Nikolay I. Anshakov, Postgraduate student, N.I. Volkov Department of Biochemistry and Bioenergetics of Sports, Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, Russia; Analyst, Department of Functional Training, Center for Sports Innovative Technologies and Training of National Teams, Moscow, Russia.

Ritta V. Tambovtseva, Doctor of Biological Sciences, Head of the N.I. Volkov Department of Biochemistry and Bioenergetics of Sports, Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, Russia.

Andrey V. Kozlov, Candidate of Biological Sciences, Analyst, Department of Functional Training, Center for Sports Innovative Technologies and Training of National Teams, Moscow, Russia.

Valentin D. Sonkin, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Physiology, Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, Russia.

Alexey I. Laptev, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Research Institute of Sports and Sports Medicine, Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, Russia.

Вклад авторов:

Аньшаков Н.И. – организация и проведение тестирований, сбор и анализ данных, написание основных разделов статьи.

Тамбовцева Р.В., Козлов А.В., Сонькин В.Д., Лаптев А.И. – активное участие в обсуждении результатов исследования, редактирование статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

Anshakov N.I. – organization and conduct of testing, data collection and analysis, writing the main sections of the manuscript.

Tambovtseva R.V., Kozlov A.V., Sonkin V.D., Laptev A.I. – active participation in the discussion of the study results, manuscript editing.

The authors declare no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 13.12.2025

The article was submitted 13.12.2025