Б И О Л О Г И Ч Е С К И Е Н А У К И

УДК 612.76. 796 DOI: 10.5281/zenodo.20799684 EDN: SXGTWT

ПУЛЬСОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЕРЕНЕСЕННОГО ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ОБЪЕМА ВЫПОЛНЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРЕДЕЛЬНЫХ СИЛОВЫХ УПРАЖНЕНИЙ В РАЗНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

© 2026. ***Н. И. Аньшаков, Р. В. Тамбовцева***

Цель исследования – оценить объем перенесенного физиологического напряжения, как характеристику внешней работы при выполнении силовых упражнений (жим лежа, приседание, становая тяга) в режиме предельных повторений, на уровне интенсивности - 100, 90, 80, 70, 60, 50 % от 1ПМ. В исследовании участвовали 12 спортсменов, из различных видов спорта. Для определения МПК и предельной ЧСС использовали тест с повышением нагрузки до волевого отказа на беговом тредбане. Для измерения эргометрических и физиологических характеристик физической нагрузки использовали линейный энкодер GymAware, портативный эргоспирометр MetaLyzer и анализатор лактата Lactate Plus. Для реализации цели исследования были использованы показатели нагрузочной экспозиции, рассчитанные по потреблению O_2 и по ЧСС ($НЭО_2$ и НЭчсс). $НЭО_2$ и НЭчсс во всех упражнениях сильно линейно взаимосвязаны между собой (r = 0,85–0,95) и с максимальным приростом концентрации лактата (ΔЛа) (ρ = 0,81–0,89); с внешней механической работой (А) выявлены умеренные и сильные связи: ρ = 0,65–0,89.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности оценки перенесенного физиологического напряжения, как косвенной характеристики объема выполненной механической работы и величины накопленного лактата в упражнении, с помощью показателя НЭчсс.

Ключевые слова: интенсивность упражнения, нагрузочная экспозиция, внешняя механическая работа, лактат, ЧСС, потребление кислорода, силовые упражнения.

Введение. Эргометрический подход для оценки силовых упражнений основан на измерении и расчете ряда характеристик: тоннажа, работы, мощности, силы, скорости. Наиболее доступным в спортивной практике является расчет тоннажа упражнения [1], для оценки остальных характеристик силовых упражнений необходима специальная измерительная аппаратура и участие специалистов высокого уровня. Однако, только по тоннажу невозможно оценить объем перенесенного физиологического напряжения. При этом, измерение концентрации лактата в крови требует инвазивного вмешательства, а измерение потребления кислорода требует специалистов высокой квалификации и дорогостоящего газометрического оборудования, которое неудобно использовать во время упражнений. Эти методы сильно ограничены в тренировочной практике. При выполнении силовых упражнений простейшим методом контроля является измерение ЧСС в процессе выполнения нагрузки и в восстановительном периоде после её завершения.

Для оценки внешней физической работы мы исходили из модели, предложенной в недавней публикации Impellizzeri с соавторами [2], которые исследовали воздействие физической нагрузки на организм человека. В этой работе для количественного описания тренировочного воздействия авторами был предложен показатель – нагрузочная экспозиция (НЭ) [2], аналогичный кумулятивному воздействию (cumulative exposure) из эпидемиологии [3, 4].

НЭ есть внутренняя (физиологическая) нагрузка, которая представляет собой произведение интенсивности упражнения на его продолжительность. Если интенсивность выражена в относительных единицах, то произведение интенсивности на продолжительность (в минутах) имеет размерность времени – это согласуется с традиционными моделями учёта внутренней нагрузки, такими как TRIMP (Training Impulse), предложенными Banister [5], Edwards [6], Lucia et al. [7], Foster et al. [8] и др. Для оценки интенсивности упражнения мы использовали УИФЗ (удельная интенсивность физиологических затрат) – показатель, предложенный для циклических и тяжелоатлетических упражнений [9, 10].

В нашем исследовании мы проверяем возможность использования НЭ для количественной оценки выполненной механической работы и степени тяжести перенесенной физической нагрузки при выполнении силовых упражнений в различных режимах интенсивности. Основное преимущество данного подхода в оценке нагрузки – методическая простота и удобство измерения в контексте реального тренировочного процесса.

Цель исследования – оценить объем перенесенного физиологического напряжения, как характеристику внешней работы при выполнении силовых упражнений (жим лежа, приседание, становая тяга) в режиме предельных повторений, на уровне интенсивности – 100, 90, 80, 70, 60, 50 % от 1ПМ.

Материалы и методы. Исследования проводились на базе Центра спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд Москомспорта и Российского университета спорта. Экспериментальная работа включала три этапа (см. табл. 1).

Таблица 1

Организация и этапы исследования

№	Этап исследования	Содержание этапа исследования
1	Измерение антропометрических показателей. Определение максимальных функциональных возможностей (МПК и ЧССмакс).	Измерение длины тела осуществлялось с применением металлического антропометра. Оценка массы тела и анализ компонентного состава выполнялись методом биоимпедансометрии с использованием многочастотного анализатора состава тела InBody. Для определения МПК и предельной ЧСС использовалось тест с повышением нагрузкой до волевого отказа на беговом тредбане
2	Определение одноповторного максимума (1ПМ) и непосредственное выполнение базовых силовых упражнений.	За 1–2 дня до выполнения серии упражнений определяли 1ПМ. Нагрузка выполнялась в режиме 100, 90, 80, 70, 60, 50 % от 1ПМ на предельное количество повторений. Во всех измерениях проводился параллельный мониторинг газообмена и ЧСС.
3	Анализ и обработка полученных данных.	Расчет эргометрических и физиологических показателей. Статистическая обработка данных и выявление корреляционных связей между показателями.

Методика расчета показателей физической работы, полученных на основании данных о потреблении кислорода и ЧСС в динамике работы и восстановления, представлены в табл. 2, 3.

Внешняя физическая работа (А, кГм) рассчитывалась:

$A = n \times m \times h$, где

n – количество повторений, m – вес штанги (кГ),

h – вертикальное перемещение штанги в фазе подъёма (м).

Таблица 2

Расчетные физиологические показатели физической работы, полученные на основании данных о потреблении кислорода в динамике работы и восстановления

Показатели по потреблению O_2		
Обозначения	Формула	Физиологический смысл
КЗ	= КП + КД	Кислородный запрос упражнения (*КЗ,* л): сумма объема потребленного кислорода за время работы (кислородный приход –*КП*) и кислородного долга за 10 мин восстановления (*КД*), сверх предстартового уровня
СОКЗ	= КЗ / t	Скорость образования кислородного запроса (*СОКЗ,* л/мин): отношение кислородного запроса ко времени работы в упражнении (*t*, мин)
ΔМПК	=МПК – пр$ПО_2$	Индивидуальный максимум потребления кислорода за вычетом исходного уровня *(ΔМПК)*: разница между максимальным потреблением кислорода (*МПК*) и предстартовым уровнем (*пр$ПО_2$*, л/мин)
УИФЗ$_{O2}$	= СОКЗ / ΔМПК	Удельная интенсивность физиологических затрат по кислороду (*УИФЗ$_{O2}$*, у. ед.) за время работы в упражнении: отношение скорости образования кислородного запроса (*СОКЗ)* к индивидуальному уровню максимального потребления кислорода за вычетом предстартового уровня. Одна единица *УИФЗ$_{O2}$* соответствует уровню кислородного запроса, равного величине *ΔМПК*
НЭ$_{O2}$	=t×УИФЗ$_{O2}$	Нагрузочная экспозиция (*НЭ$_{O2}$*, мин), объем физиологической работы в упражнении, рассчитанный по объемам потребленного O_2

Таблица 3

Расчетные физиологические показатели физической работы, полученные на основании данных о частоте сердечных сокращений (ЧСС) в динамике работы и восстановления

Показатели по ЧСС		
Обозначения	Формула	Физиологический смысл
ПЗ	= ПП + ПД	Пульсовой запрос *(ПЗ,* уд*)*; суммарная пульсовая стоимость упражнения: пульсовая сумма за время работы (пульсовой приход – *ПП*) и за 5 мин восстановления (пульсовой долг – *ПД*), сверх предстартового уровня
СОПЗ	= ПЗ / t	Скорость образования пульсового запроса упражнения (*СОПЗ,* уд/мин): отношение суммарной пульсовой стоимости упражнения ко времени работы в упражнении (*t*, мин)
ΔЧСС $_{макс.}$	= ЧСС $_{макс.}$– ЧСС $_{пр.}$	Пульсовой резерв (*ΔЧСС$_{макс}$*, уд/мин): разница между максимальной ЧСС (*ЧСС$_{макс}$*, определяется в рамп-тесте) и предстартовым уровнем ЧСС в упражнении *(ЧСС$_{пр}$)*
УИФЗ$_{чсс.}$	= СОПЗ / ΔЧСС$_{макс}$	Удельная интенсивность физиологических затрат по *ЧСС* за время работы в упражнении (*УИФЗ$_{чсс}$*, у. ед.): отношение скорости образования пульсового запроса упражнения к пульсовому резерву (ΔЧСС$_{макс}$). Одна единица *УИФЗ$_{чсс}$* соответствует уровню пульсового запроса, равного величине *ΔЧСС$_{макс}$*
НЭ$_{чсс}$	= t×УИФЗ$_{чсс}$	Нагрузочная экспозиция (*НЭ$_{чсс}$*, мин), объем физиологической работы в упражнении, рассчитанная по пульсовым суммам

Протокол исследования предусматривал выполнение силовых упражнений с максимальным количеством повторений, в связи с чем восстановление ЧСС после завершения работы в ряде случаев превышало пять минут. Тем не менее, быстрая фаза

восстановления завершаются к пятой минуте постнагрузочного периода, поэтому пульсовой долг рассчитывали именно за этот временной интервал. При этом, если у конкретного испытуемого ЧСС возвращалась к стабильному предстартовому уровню ранее пяти минут (либо потребление O_2 – ранее десяти минут), расчёт пульсового и кислородного долга проводили по фактической длительности восстановительного периода для данного спортсмена.

Для проверки информативности полученных показателей с помощью измерения ЧСС был проведен сравнительный анализ с их аналогами, полученными с помощью измерения объемов потребленного кислорода. С этой целью была организована специальная серия исследований, в рамках которой испытуемые в разные дни выполняли базовые силовые упражнения с тяжелоатлетической штангой: жим штанги лёжа на горизонтальной скамье, приседания со штангой на спине и становая тяга классическая. В дальнейшем упражнения именуются как «жим лёжа», «приседания» и «становая тяга». Нагрузка выполнялась в режиме предельных повторений, на уровне интенсивности - 100, 90, 80, 70, 60, 50 % от 1ПМ. Измерения проводились после завершения разминки: в течение пяти минут регистрировался предстартовый уровень показателей в положении сидя, затем – в ходе выполнения работы и в десятиминутный восстановительный период при сохранении положения сидя.

Программа исследования была одобрена на собрании этического комитета по проверке подготовки и проведения медико-биологических и клинических исследований РУС «ГЦОЛИФК» (протокол № 1 от 03.02.2025 г.). Все спортсмены перед исследованием получали медицинское заключение о возможности проведения тестов с максимальными нагрузками. В момент проведения исследований все спортсмены были здоровы и находились в оптимальном физическом состоянии в подготовительном этапе спортивной деятельности. От каждого было получено информированное согласие на участие в исследовании.

Достоверность результатов обеспечивалась строгой стандартизацией протокола выполнения упражнений, использованием валидированного оборудования, а также параллельной регистрацией биохимических, физиологических и эргометрических показателей. Совокупность этих факторов минимизирует случайную ошибку измерения и повышает надёжность выявленных зависимостей. Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием стандартных методов описательной и сравнительной статистики. Расчёты выполнены в программных пакетах Statistica 13.0 и Microsoft Excel. Коэффициент корреляции Спирмена применялся в тех случаях, когда распределение хотя бы одного из связанных показателей отличалось от нормального, а также при наличии признаков рангового или порядкового характера. Коэффициент корреляции Пирсона использовался для тех пар показателей, у которых оба распределения не имели статистически значимых отклонений от нормального закона по критерию Шапиро–Уилка и удовлетворяли требованиям параметрической статистики (линейность связи, отсутствие выраженных выбросов).

Результаты исследования. В результате измерений получены следующие усредненные данные, описывающие выборку испытуемых: возраст – 20,6 ± 4,6 лет, масса тела – 77,8 ± 10,2 кг, МПК – 49,3±6,1 мл/мин/кг, ЧССmax – 195 ± 12 уд/мин.

Эргометрические и физиологические показатели испытуемых (n=12) в различных предельных упражнениях в режиме 100, 90, 80, 70, 60, 50 % от 1ПМ представлены в таблицах 4–6.

Таблица 4

Эргометрические и физиологические показатели исследования в упражнении «жим лежа» (n=72, M ± σ).

Показатели	% от 1ПМ					
	100	90	80	70	60	50
Жим лежа						
$вес_{шт}$, кГ	81±16	72±14	65±13	57±11	49±10	40 ±8
n, кол-во повтор.	1±0	4±1	8±2	15±2	21±4	30±2
h, м	0,36±0,0	0,36±0,0	0,37±0,0	0,36±0,1	0,37±0,0	0,37±0,1
Тупр, кг	81±16	281±102	548±149	831±214	1019±228	1209±220
t, мин	0,1±0,0	0,2±0,1	0,4±0,1	0,6±0,1	0,76±0,2	1,0±0,2
$рO_2$, л	0,04±0,0	0,1±0,1	0,2±0,1	0,4±0,1	0,5±0,2	0,7±0,2
$вO_2$, л	1,2±0,5	1,8±0,7	2,0±0,7	2,3±0,8	2,5±0,9	2,7±1,0
ПСр, уд	3,6±1,0	13,7±7	24,6±9	38,9±10	50,0±17	73,4±18
ПСв, уд	118±47	160±62	182±41	200±54	207±45	224±49
$УИФЗ_{O2}$	6,0±2,6	2,6±1,0	1,6±0,6	1,3±0,5	1,1±0,4	0,9±0,3
$УИФЗ_{ЧСС}$	13,6±5,1	5,9±2,0	3,8±0,9	2,9±0,7	2,5±0,5	2,2±0,4
А, кГм	29±6	103±43	198±50	294±78	380±98	446±94
$НЭ_{ЧСС,}$ мин	0,9±0,3	1,2±0,4	1,5±0,3	1,8±0,3	1,9±0,4	2,1±0,4
$НЭO_2$, мин	0,4±0,1	0,5±0,2	0,6±0,2	0,7±0,2	0,8±0,2	0,9±0,3
ΔЛа, ммоль/л	1,0±0,2	2,4±0,7	3,4±0,6	4,5±0,7	4,9±0,8	5,7±0,7
макс Ла, ммоль/л	2,04±1,8	3,5±0,6	4,5±0,6	5,6±0,5	6,2±0,8	6,9±0,7

Таблица 5

Эргометрические, биохимические и физиологические показатели исследования (M ± σ), полученные в упражнении «становая тяга» до предела в режиме 100, 90, 80, 70, 60, 50 % от 1ПМ (n=72).

Показатели	% от 1ПМ					
	100	90	80	70	60	50
Становая тяга						
$вес_{шт}$, кГ	123±25	111±22	98±20	86±17	74±14	61±12
n, кол-во повтор.	1±0	6±3	12±5	17±6	25±6	36±7
t, мин	0,07±0,01	0,33±0,12	0,57±0,16	0,78±0,21	1,06±0,25	1,44±0,26
Тупр, кг	123±25	609±220	1100±450	1442±488	1772±422	2164±469
h, м	0,56±0,1	0,55±0,1	0,55±0,1	0,56±0,1	0,55±0,1	0,55±0,1
$рO_2$, л	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	1,6±0,6	3,1±1,0	3,9±1,0	4,2±1,0	4,5±0,9	4,8±0,9
ПСр	4±1	22±9	41±14	63±24	92±23	134±33
ПСв	136±41	201±53	243±41	261±41	281±37	300±41
$УИФЗ_{O2}$	6,3±2,1	3,0±1,3	2,3±0,5	1,9±0,5	1,7±0,4	1,4±0,3
$УИФЗ_{ЧСС}$	14,6±5,7	5,6±2,5	3,8±0,9	3,2±0,8	2,7±0,5	2,3±0,4
А, кГм	69±17	334±125	603±232	809±291	983±296	1197±340
$НЭ_{ЧСС,}$ мин	0,3±0,1	0,9±0,3	1,4±0,6	1,8±0,5	2,0±0,5	2,5±0,3
$НЭO_2$, мин	0,4±0,2	0,9±0,3	1,2±0,3	1,4±0,3	1,7±0,4	2,0±0,4
ΔЛа, ммоль/л	1,0±0,1	2,8±0,9	4,1±1,1	5,3±1,8	6,5±1,8	7,8±2,1
макс Ла, ммоль/л	2,2±0,4	4,1±1,0	5,4±1,2	6,6±1,9	7,7±1,9	9,1±2,1

Представленные в таблицах 4–6 все эргометрические и физиологические показатели повышаются со снижением интенсивности (% от 1ПМ) и, соответственно, увеличением продолжительности упражнения. При этом, значения пульсовых показателей по величине больше, чем значения аналогичных показателей, рассчитанных по O_2. Это может быть связано с тем, что ЧСС отражает комплексный характер хронотропного ответа на нагрузку [11–15].

Таблица 6

Эргометрические, биохимические и физиологические показатели исследования (M ± σ), полученные в упражнении «приседание» до предела в режиме 100, 90, 80, 70, 60, 50% от 1ПМ (n=72).

Показатели	% от 1ПМ					
	100	90	80	70	60	50
Приседание						
$вес_{шт}$, кГ	111±25	100±23	89±20	78±17	66±15	55±13
n, кол-во повтор.	1±0	7±2	12±3	22±5	33±4	49±10
t, мин	0,1±0,0	0,4±0,1	0,7±0,2	1,1±0,2	1,5±0,2	2,1±0,4
h, м	0,53±0,1	0,52±0,1	0,53±0,1	0,53±0,1	0,53±0,1	0,54±0,1
Тупр, кг	111±25	676±266	1073±296	1683±286	2124±465	2664±774
$рО_2$, л	0,04±0,0	0,3±0,2	0,8±0,4	1,5±0,3	2,3±0,5	3,7±0,8
$вО_2$, л	1,7±0,6	3,3±0,7	3,8±0,6	4,5±0,7	4,6±0,8	5,0±0,8
ПСр	5±2	32±13	55±16	97±18	136±29	208±39
ПСв	138±44	220±32,3	256±43	292±38	301±51	344±37
$УИФЗ_{O2}$	6,9±2,3	2,8±0,7	2,0±0,5	1,6±0,4	1,4±0,3	1,2±0,3
$УИФЗ_{ЧСС}$	15,0±5,1	5,0±1,2	3,5±0,8	2,7±0,4	2,3±0,3	2,0±0,3
А, кГм	59±13	345±119	562±150	890±178	1122±251	1402±310
$НЭ_{ЧСС,}$ мин	1,1±0,4	1,9±0,4	2,3±0,3	2,8±0,4	3,3±0,4	4,0±0,5
$НЭО_2$, мин	0,5±0,2	1,0±0,3	1,3±0,3	1,7±0,3	2,0±0,4	2,5±0,4
ΔЛа, ммоль/л	1,1±0,3	3,2±0,9	4,6±1,0	6,7±1,6	8,0±2,0	9,7±2,1
макс$Л_а$, ммоль/л	2,1±0,5	4,3±0,9	5,7±0,9	7,9±1,6	9,2±2,0	10,9±2,1

Примечание:
макс$Л_а$ – максимальная концентрация лактата;
Тупр – тоннаж упражнения;
А – внешняя механическая работа, выполненная в упражнении;
$НЭО_2$ – нагрузочная экспозиция в упражнении, рассчитанная по O_2;
НЭчсс – нагрузочная экспозиция в упражнении, рассчитанная по ЧСС;
$НЭанО_2$ – анаэробная часть нагрузочной экспозиции, рассчитанная по O_2;
НЭанчсс – анаэробная часть нагрузочной экспозиции, рассчитанная по ЧСС.

Мы установили корреляционные взаимосвязи между выполненной работой и одноименными показателями НЭ. Результаты представлены в табл. 7.

Таблица 7

Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (ρ)* и Пирсона (r)** между величинами НЭ и величинами А, (при $p < 0,001$).

Показатели	$НЭО_2$	А
Жим лежа (n=72)		
$НЭ_{O2}$	1,00	0,65*
$НЭ_{чсс}$	0,85**	0,66*
Приседание (n=72)		
$НЭ_{O2}$	1,00	0,79*
$НЭ_{чсс}$	0,95**	0,89*
Становая тяга (n=72)		
$НЭ_{O2}$	1,00	0,86*
$НЭ_{чсс}$	0,92**	0,85*

Как показывают результаты, представленные в таблице 7, показатели $НЭ_{O2}$ и $НЭ_{чсс}$ тесно линейно взаимосвязаны между собой во всех упражнениях. Это объясняется тем, что $УИФЗ_{чсс}$ и $УИФЗ_{O2}$ являются множителями при расчетах показателей нагрузочной экспозиции и при этом тесно взаимосвязаны между собой ($\rho \geq 0,92$).

В упражнениях «становая тяга» и «приседание» выявлены высокие корреляционные связи показателей $НЭ_{чсс}$ и A. Однако, в отличие от этих упражнений, в упражнении «жим лежа» уровень корреляционной связи – умеренный. Это, вероятно, связано с биомеханическими особенностями этого упражнения: положением тела и локальным характером мышечной работы и др. При этом, индивидуальные корреляционные связи между $НЭ_{чсс}$ и A у всех спортсменов во всех упражнениях (в том числе и в жиме лежа) высокие ($\rho = 0{,}90–0{,}99$; $p < 0{,}01$). Очевидно, это связано с тем, что расчеты производились на основе индивидуальных антропометрических, эргометрических и физиологических показателей испытуемых. Другими словами - для оценки и планирования тренировочной нагрузки спортсменов целесообразно использовать их индивидуальные показатели.

Выполненная механическая работа, *НЭ* и величина прироста концентрации лактата тесно связаны друг с другом. *НЭ* сильно линейно связана с *А* и $\Delta Ла$, между $\Delta Ла$ и *А* – высокие линейные связи (см. табл. 9).

Таблица 9

Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (ρ) между $\Delta Ла$ и *А*, $\Delta Ла$ и НЭ при выполнении силовых упражнений в режиме 100,90,80,70,60,50% от 1ПМ (n=72, при $p < 0.001$).

Показатели	Жим лежа	Приседание	Становая тяга
	ΔЛа	ΔЛа	ΔЛа
А	0,89	0,95	0,91
$НЭ_{O2}$	0,81	0,92	0,89
$НЭ_{чсс}$	0,83	0,93	0,91

Как показывает табл. 9 $НЭ_{O2}$ и $НЭ_{чсс}$ прямо и сильно связана как с количеством механической работы, так и с величиной накопленного лактата ($\rho = 0{,}81–0{,}95$). Это позволяет использовать $НЭ_{чсс}$ для количественной оценки выполненной работы. Наиболее тесные связи $НЭ_{O2}$ и $НЭ_{чсс}$ с $\Delta Ла$ выявлены в приседании и становой тяге ($\rho > 0{,}89$). Уровень корреляционной связи в упражнении жим лёжа несколько ниже. Это, вероятно, связано с локальным характером мышечной работы и с меньшим образованием лактата (см. табл. 4–6).

Прямая линейная зависимость между представленными показателями означает, что с увеличением суммарной механической работы пропорционально растёт и концентрация лактата и $НЭ_{чсс}$. Таким образом, величина $НЭ_{чсс}$ дает тренеру представление как о количестве механической работы, так и об уровне перенесенного физиологического напряжения спортсмена.

Заключение. Во всех упражнениях между одноименными показателями $НЭ_{O2}$ и $НЭ_{чсс}$ установлены тесные линейные взаимосвязи ($r = 0{,}85–0{,}95$).

В упражнениях глобальной характера – «приседание» и «становая тяга» установлены высокие линейные корреляционные связи ($\rho = 0{,}79–0{,}89$) между $НЭ_{O2}$, $НЭ_{чсс}$ и объёмом внешней работы.

В упражнении локального характера – «жим лежа» установлены умеренные ($r = 0{,}65$, $r = 0{,}66$) внутригрупповые корреляционные связи между $НЭ_{O2}$, $НЭ_{чсс}$ и объёмом внешней работы.

Во всех упражнениях показатели $НЭ_{O2}$ и $НЭ_{чсс}$ демонстрируют высокие корреляционные связи с $\Delta Ла$ ($\rho = 0{,}81–0{,}93$).

Анализ результатов исследования позволяет сделать выводы о том, что $НЭ_{ЧСС}$ может быть использован для косвенной оценки объема выполненной физической работы в том случае, если нет возможности регистрировать потребление O_2, измерить внешнюю нагрузку и концентрацию лактата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zatsiorsky V.M., Kraemer W.J. Science and Practice of Strength Training. – 3rd ed. – Champaign: Human Kinetics, 2022. – 408 p.
2. Impellizzeri F. M., Shrier I., McLaren S. J., Coutts A. J., McCall A., Slattery K., Jeffries A. C., Kalkhoven J. T. Understanding Training Load as Exposure and Dose // Sports Medicine. – 2023. – Vol. 53, No 9. – P. 1667–1679. – DOI: 10.1007/s40279-023-01833-0.
3. Checkoway H., Pearce N., Kriebel D. Research Methods in Occupational Epidemiology. – Oxford : Oxford University Press, 2004. – Vol. 34 (Monographs in Epidemiology and Biostatistics). – DOI: 10.1093/aje/kwi020.
4. Kriebel D., Checkoway H., Pearce N. Exposure and Dose Modelling in Occupational Epidemiology // Occupational and Environmental Medicine. – 2007. – Vol. 64, No 7. – P. 492–498. – DOI: 10.1136/oem.2006.03003.
5. Banister E. W. Modeling Elite Athletic Performance // Physiological Testing of Elite Athletes / ed. by J. Green, P. Thomas. – Champaign, IL : Human Kinetics, 1991. – P. 403–422. – DOI: 10.12691/jpar-5-2-5.
6. Edwards S. The Heart Rate Monitor Book. – 5th ed. – Port Washington : Polar CIC, 1993. – 170 p.
7. Lucia A. et al. Heart Rate Response to Professional Road Cycling: The Tour de France // International Journal of Sports Medicine. – 1999. – Vol. 20, No 3. – P. 167–172. – DOI: 10.1055/s-1999-970284.
8. A New Approach to Monitoring Exercise Training / C. Foster, J. A. Florhaug, J. Franklin, L. Gottschall, L. A. Hrovatin, S. Parker, P. Doleshal, C. Dodge // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2001. – Vol. 15, No 1. – P. 109–115.
9. Козлов А. В., Аньшаков Н. И., Сонькин В. Д. Неинвазивные методы определения физиологических параметров тренировочной нагрузки для спортсменов циклических видов // Сборник тезисов XXIV съезда Физиологического общества им. И. П. Павлова. — Санкт-Петербург, 2023. – С. 540.
10. Козлов А. В., Ваваев А. В., Якушкин А. В., Лаптев А. И., Юриков Р. В., Сонькин В. Д. Удельная интенсивность физиологических затрат при циклической работе различной мощности // Физиология человека. – 2022. – Т. 48, № 1. – С. 18–25. – DOI: 10.31857/S0131164622010076.
11. Scott C.B. Contribution of anaerobic energy expenditure to whole body thermogenesis. Nutr. Metab. (Lond). – 2005. – Vol. 2, No. 1. – P. 14. – DOI: 10.1186/1743-7075-2-14
12. Jose A.D., Stitt F., Collison D. The effects of exercise and changes in body temperature on the intrinsic heart rate in man. Am. Heart J. – 1970. – Vol. 79, No. 4. – P. 488. – DOI: 10.1016/0002-8703(70)90254-1
13. Nutritional needs in hot environments: Applications for military personnel in field operations. Ed. Marriott B.M. – Washington: National Academies Press, 1993. – P. 392. – DOI: 10.17226/2094
14. Brooks G. A., Arevalo J. A., Osmond A. D. et al. Lactate in Contemporary Biology: A Phoenix Risen // The Journal of Physiology. – 2022. – Vol. 600, No 5. – P. 1229–1251. – DOI: 10.1113/JP280955.
15. Баевский Р.М. Проблема оценки и прогнозирования функционального состояния организма и ее развитие в космической медицине // Усп. физиол. наук. – 2006. – Т. 37, № 3. – С. 42.

REFERENCES

1. Zatsiorsky, V. M. & Kraemer, W. J. (2022) Science and Practice of Strength Training (3rd ed.). Champaign, IL, Human Kinetics, 408 p.
2. Impellizzeri, F. M., Shrier, I., McLaren, S. J., Coutts, A. J., McCall, A., Slattery, K., Jeffries, A. C., & Kalkhoven, J. T. (2023) Understanding training load as exposure and dose. Sports Medicine. 53 (9), 1667-1679, doi: 10.1007/s40279-023-01833-0.
3. Checkoway, H., Pearce, N., & Kriebel, D. (2004) Research methods in occupational epidemiology. Monographs in Epidemiology and Biostatistics. 34, doi: 10.1093/aje/kwi020.
4. Kriebel, D., Checkoway, H., & Pearce, N. (2007) Exposure and dose modelling in occupational epidemiology. Occupational and Environmental Medicine. 64 (7), 492-498, doi: 10.1136/oem.2006.03003.
5. Banister, E. W. (1991) Modeling elite athletic performance. In: Green, J., & Thomas, P. (Eds.) Physiological testing of elite athletes. Champaign, IL, Human Kinetics, 403-422, doi: 10.12691/jpar-5-2-5.
6. Edwards, S. (1993) The Heart Rate Monitor Book (5th ed.). Port Washington, Polar CIC, 170 p.
7. Lucia, A. et al. (1999) Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. International Journal of Sports Medicine. 20 (3), 167-172, doi: 10.1055/s-1999-970284.
8. Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P. & Dodge, C. (2001) A new approach to monitoring exercise training. Journal of Strength and Conditioning Research. 15 (1), 109–115.
9. Kozlov, A. V., Anshakov, N. I. & Sonkin, V. D. (2023) [Non-invasive methods for determining physiological parameters of training load for athletes in cyclic sports] In: Proceedings of the XXIV Congress of the I. P. Pavlov Physiological Society, Saint Petersburg, Russia. Saint Petersburg, p. 540. (In Russian).

10. Kozlov, A. V., Vavaev, A. V., Yakushkin, A. V., Laptev, A. I., Yurikov, R. V. & Sonkin, V. D. (2022) Specific intensity of physiological costs during cyclic work of varying power. Human Physiology. 48 (1), 18–25, doi: 10.31857/S0131164622010076. (In Russian).
11. Scott, C. B. (2005) Contribution of anaerobic energy expenditure to whole body thermogenesis. Nutrition & Metabolism. 2 (1), 14, doi: 10.1186/1743-7075-2-14.
12. Jose, A. D., Stitt, F. & Collison, D. (1970) The effects of exercise and changes in body temperature on the intrinsic heart rate in man. American Heart Journal. 79 (4), 488–498, doi: 10.1016/0002-8703(70)90254-1.
13. Marriott, B. M. (Ed.) (1993) Nutritional needs in hot environments: Applications for military personnel in field operations. Washington, DC, National Academies Press, 392 p., doi: 10.17226/2094.
14. Brooks, G. A., Arevalo, J. A., Osmond, A. D. et al. (2022) Lactate in contemporary biology: A phoenix risen. The Journal of Physiology. 600 (5), 1229, doi: 10.1113/JP280955.
15. Baevskii, R. M. (2006) [The problem of assessing and predicting the functional state of the body and its development in space medicine]. Uspekhi fiziologicheskikh nauk = Advances in Physiological Sciences. 37 (3), 42. (In Russian).

PECULIARITIES OF ADAPTATION OF STUDENTS OF DIFFERENT MORPHOLOGICAL AND FUNCTIONAL STATUS TO PHYSICAL ACTIVITIES OF DIFFERENT ORIENTATION

N. I. Anshakov, R. V. Tambovtseva

The aim of this study was to assess the amount of physiological stress experienced as a characteristic of external work during strength exercises (bench press, squat, deadlift) performed at maximum repetitions, at intensities of 100, 90, 80, 70, 60, and 50 % of 1RM. Twelve athletes from various sports participated in the study. A treadmill volitional failure test was used to determine VO_2 max and maximum heart rate. A GymAware linear encoder, a MetaLyzer portable ergospirometer, and a Lactate Plus lactate analyzer were used to measure the ergometric and physiological characteristics of physical exercise. To achieve the study's objectives, exercise exposure indices calculated from O_2 consumption and heart rate (NEO_2 and HRNE) were used. NEO_2 and HRNE were strongly linearly correlated across all exercises (r = 0.85-0.95) and with the maximum increase in lactate concentration (ΔLa) (ρ = 0.81–0.89). Moderate to strong correlations with external mechanical work (A) were found: ρ = 0.65–0.89.

The obtained results indicate the possibility of using the NEHR indicator for indirectly assessing the volume of mechanical work performed and the amount of lactate accumulated during the exercise.

Keywords: exercise intensity, load exposure, external mechanical work, lactate, heart rate, oxygen consumption, strength exercises.

Поступила в редакцию 19.05.2026 г.

Аньшаков Николай Иванович
аспирант кафедры биохимии и биоэнергетики спорта им. Н.И. Волква, ФГБОУ ВО «Российский университет спорта» (РУС «ГЦОЛИФК»), г. Москва, РФ;
аналитик отдела функциональной подготовки спортсменов, ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд», г. Москва, РФ.
E-mail: anshakov.nikolya@mail.ru
ORCID: 0009-0004-6446-5410
SPIN-код: 3501-3456

Anshakov Nikolay Ivanovich
Postgraduate student of the Department of Biochemistry and Bioenergetics of Sports named after N.I. Volkov, Russian University of Sports (GTSOLIFK), Moscow, Russia;
analyst of the Department of Functional Training of Athletes, Center for Sports Innovative Technologies and Training of National Teams, Moscow, Russia.

Тамбовцева Ритта Викторовна
доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой биохимии и биоэнергетики спорта им. Н.И. Волкова, ФГБОУ ВО «Российский университет спорта» (РУС «ГЦОЛИФК»), г. Москва, РФ.
E-mail: ritta7@mail.ru
ORCID: 0009-0003-9709-599X
SPIN-код: 3112-4627

Tambovtseva Ritta Viktorovna
Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Biochemistry and Bioenergy of Sports named after N.I. Volkov, Russian University of Sports (GTSOLIFK), Moscow, Russia.