Дата публикации: 01.06.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_02_1
УДК 612; 796

Publication date: 01.06.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_02_1
UDC 612; 796

НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ И ОЦЕНКЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СИЛОВЫХ УПРАЖНЕНИЙ

Н.И. Аньшаков, Р.В. Тамбовцева
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Современная спортивная наука располагает широким арсеналом методов для контроля тренировочных воздействий, однако интеграция этих методов в единую систему оценки нагрузки при выполнении силовых упражнений остается нетривиальной задачей. Цель исследования: анализ и обобщение научных подходов к оценке физической нагрузки при выполнении силовых упражнений. ***Методы.*** Проведен поиск научных литературных источников, посвященных вышеуказанной проблеме, с использованием баз данных eLibrary.ru, PubMed, КиберЛенинка, а также журналов «Sports Medicine» и «Journal of Strength and Conditioning Research». ***Результаты.*** Научные работы, посвященные данному аспекту, подтверждают необходимость комплексного мониторинга, включающего эргометрические, физиологические и биохимические показатели. В процессе оценки силовой нагрузки наиболее важным фактором является сопоставление внешней механической работы с внутренними физиологическими затратами. ***Заключение.*** Комплексный мониторинг позволит не только повысить информативность контроля, но и перейти к персонализированному планированию силовой подготовки, учитывающему индивидуальные особенности адаптации спортсмена.

Ключевые слова: силовые упражнения, биохимические маркеры, физиологические затраты, эргометрия, частота сердечных сокращений, лактат.

SCIENTIFIC APPROACHES TO ASSESSING PHYSICAL LOADS DURING STRENGTH EXERCISES

N.I. Anshakov, R.V. Tambovtseva
Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Modern sports science has a wide range of methods for monitoring training effects, but integrating these methods into a unified system for assessing the load during strength exercises remains a non-trivial task. The aim of the study: to analyze and summarize scientific approaches to assessing physical activity during strength exercises. ***Methods.*** A search of scientific literature sources devoted to the aforementioned topic was conducted using the eLibrary.ru, PubMed, CyberLeninka databases, as well as the Sports Medicine and Journal of Strength and Conditioning Research journals. ***Results.*** Scientific studies devoted to this aspect confirm the need for comprehensive monitoring that includes ergometric, physiological, and biochemical indicators. When assessing strength load, the most important factor is the comparison of external mechanical work with internal physiological costs. ***Conclusion.*** The integrated application of these approaches not only improves the information capacity of training monitoring but also enables personalized strength training planning that takes into account the individual adaptation characteristics of athletes.

Keywords: strength exercises, biochemical markers, physiological costs, ergometry, heart rate, lactate.

Введение. Современная спортивная наука располагает широким арсеналом методов для контроля тренировочных воздействий, однако интеграция этих методов в единую систему оценки нагрузки при выполнении силовых упражнений остается нетривиальной задачей. Силовая нагрузка представляет собой сложный многокомпонентный стимул, вызывающий каскад срочных и долговременных адаптационных перестроек на системном, органном, клеточном и молекулярном уровнях. Традиционно для оценки параметров силовой нагрузки используются эргометрические методы, позволяющие количественно охарактеризовать внешнюю сторону выполненной работы. Однако информативность эргометрических показателей

существенно возрастает при их сопоставлении с физиологическими и биохимическими маркерами, отражающими внутреннюю цену нагрузки для организма.

Цель исследования: анализ и обобщение научных подходов к оценке физической нагрузки при выполнении силовых упражнений.

Методы и организация исследования. Проведен поиск научных литературных источников, посвященных методам оценки работоспособности в силовых упражнениях, с использованием баз данных eLibrary.ru, PubMed, КиберЛенинка, а также журналов «Sports Medicine» и «Journal of Strength and Conditioning Research». Было проанализировано 48 публикаций по данной проблеме. В обзор включены 8 источников российских ученых и 40 источников на иностранном языке.

Результаты исследования и их обсуждение. *Эргометрические подходы к оценке нагрузки.* Эргометрия представляет собой совокупность диагностических методов, позволяющих количественно измерить выполненную человеком физическую работу и оценить уровень работоспособности. В контексте силовых упражнений основными эргометрическими показателями являются механическая работа (Дж, кгм), мощность (Вт), сила (Н), импульс силы (Н•с) и скорость развития силы (rate of force development, RFD) [1]. В отличие от подходов, основанных исключительно на физиологических реакциях, эргометрия стремится к прямому измерению внешней работы [2].

Основные эргометрические методы в силовых упражнениях:

1. Тест 1ПМ (одноповторный максимум): золотой стандарт оценки максимальной силы, демонстрирующий хорошую и отличную надежность повторных измерений независимо от опыта силовых тренировок [3]. Стандартизированный протокол тестирования 1ПМ с короткой разминкой и периодом ознакомления является надежным измерением для оценки изменений мышечной силы [4];

2. Линейные энкодеры (GymAware, Tendo Unit): позволяют регистрировать скорость перемещения снаряда, пиковую и среднюю мощность, время выполнения фаз движения. GymAware демонстрирует высокую валидность измерения скорости и мощности при выполнении силовых упражнений [5].

3. Силовые платформы (AMTI, Kistler). Обеспечивают регистрацию вертикальной силы реакции опоры, импульса силы, RFD. Портативные системы силовых платформ AMTI показывают хорошее-отличное согласие с альтернативными устройствами [6]. AMTI OR6-7-2000 используется как критерий валидации для других измерительных систем [7].

4. Изокинетические динамометры (Biodex, HUMAC NORM): позволяют оценивать силовые характеристики в широком диапазоне угловых скоростей (от 30 до 500°/с). Biodex System 4 демонстрирует отличную надежность повторных измерений для оценки силы коленного сустава у различных популяций [8]. Изокинетический концентрический режим динамометра Biodex надежен для измерений пикового крутящего момента [9]. Надежность повторных измерений изокинетической силы голеностопного, коленного и тазобедренного суставов у физически активных взрослых в основном хорошая или отличная [10].

5. Тросиковые тензодатчики: измеряют силу тяги в реальном времени, применяются для оценки тяговых упражнений и гребных движений [11].

Основным методологическим недостатком эргометрического подхода является его зависимость от результатов упражнений, выполняемых до предельного утомления. Ключевой проблемой является то, что подход оценивает внешнюю работу, но не отражает ее истинную физиологическую стоимость [12]. При этом важно подчеркнуть, что эргометрические показатели сопоставимы по информативности с физиологическими и биохимическими критериями, а в ряде случаев обеспечивают получение более надежных характеристик работоспособности.

Физиологические подходы к оценке нагрузки. Физиологические методы оценки нагрузки при выполнении силовых упражнений направлены на регистрацию срочных адаптационных реакций со стороны вегетативных и двигательных систем организма. К наиболее информативным физиологическим маркерам относятся

показатели сердечно-сосудистой системы (частота сердечных сокращений (ЧСС), вариабельность сердечного ритма, артериальное давление), дыхательной системы (частота дыхания, потребление кислорода, вентиляционный эквивалент) и нервно-мышечного аппарата (электромиография).

Относительная метаболическая мощность (MMR): научные работы многократно подтверждают, что для объективной оценки силовой нагрузки недостаточно только эргометрического подхода. Волков Н.И. и соавт. указывают на значимость биоэнергетической классификации нагрузок, основанной на MMR [12].

Интенсивность накопления пульсового долга (ИНПД): в 1985 году В.М. Король, В.Д. Сонькиным и Л.И. Ратушной был предложен показатель для оценки физиологической стоимости физической работы анаэробного и смешанного характера, основанный на регистрации ЧСС в восстановительном периоде – интенсивность накопления пульсового долга. Показатель ИНПД характеризует не только скорость физиологических затрат, связанных с анаэробным метаболизмом, но и степень функционального напряжения регуляторных систем целостного организма [13].

Удельная интенсивность физиологических затрат (УИФЗ): показатель УИФЗ заслуживает особого внимания. Козлов А.В. и соавт. экспериментально обосновали тесную корреляционную связь между интегральными пульсометрическими показателями и величиной кислородного долга [14]. В ходе экспериментальных исследований было выявлено, что показатели УИФЗ, рассчитанные по ЧСС (УИФЗчсс), имеют тесную взаимосвязь с аналогичными показателями по потреблению кислорода ($УИФЗО_2$) во всех диапазонах мощности в циклических упражнениях [15].

Методика TRIMPS (Training Impulse) была разработана Баннистером Э.В. в 1991 году для количественной оценки тренировочной нагрузки [16]. TRIMPS рассчитывается как произведение продолжительности тренировочного занятия (t, мин) на относительный рабочий прирост ЧСС (ΔЧССотн) и весового коэффициента нагрузки (Y), имеющего экспоненциальную зависимость [17].

Применимость TRIMPS к силовым упражнениям:

1. Ограничения метода: TRIMPS изначально разработан для циклических видов деятельности, где ЧСС хорошо коррелирует с метаболическим стрессом [18]. Метод TRIMP обычно используется для мониторинга аэробных тренировок и изначально рассчитывался на основе продолжительности тренировки и изменений ЧСС [19].

2. Модификации для силовых тренировок: Edwards и коллеги ввели пульсовые зоны в расчет TRIMP для упрощения вычислений и учета прерывистых упражнений [20]. Суммированные пульсовые зоны Эдвардса (Edwards TRIMP) и метод тренировочного импульса Баннистера (Banister TRIMP) использовались как критерий внутренней тренировочной нагрузки [21].

3. Валидация в силовых видах спорта: исследования показали, что методы Banister TRIMP и Foster (sRPE) являются сопоставимыми для расчета тренировочной нагрузки у спортсменов тхэквондо [22]. TRIMP метод был применен в тренировке спортсменов боевых искусств с подтверждением эффективности [23].

4. Преимущества и недостатки: TRIMP обеспечивает объективную процедуру количественной оценки тренировочной нагрузки на основе мониторинга ЧСС и продолжительности упражнений [24]. Однако для силовых тренировок ЧСС может недостаточно точно отражать метаболический стресс из-за биомеханических особенностей и гемодинамических изменений [25].

Концепция «дозы физической нагрузки» и нагрузочной экспозиции: в недавней концептуальной публикации Impellizzeri et al. (2023) были предложены унифицированные термины для количественного описания физической нагрузки: доза воздействия нагрузки и нагрузочная экспозиция (НЭ) [26]. Доза воздействия нагрузки определяется как совокупное воздействие двух взаимосвязанных компонентов – внешней и внутренней нагрузок [27]. На основе полученных данных вычислены показатели НЭ, рассчитанные по ЧСС и потреблению O_2. Результаты исследований показывают высокий уровень взаимосвязей одноименных показателей $НЭО_2$ и НЭчсс [28].

Важно отметить, что ни один изолированный физиологический маркер не может служить универсальным предиктором тренировочного эффекта или состояния утомления. По этой причине современные исследования ориентированы на создание многомерных моделей, интегрирующих физиологические, эргометрические и субъективные данные [29].

Биохимические подход к оценке нагрузки. Биохимические методы занимают ключевое место в системе контроля адаптации к силовым нагрузкам, поскольку позволяют оценить метаболическую стоимость работы, степень повреждения мышечной ткани и состояние восстановительных процессов на молекулярном уровне.

Лактат крови является ключевым метаболитом, образующимся преимущественно в результате анаэробного гликолиза, и служит количественным индикатором анаэробного вклада [30]. Концентрация лактата в крови прямо пропорциональна объему метаболизированной глюкозы/гликогена и количеству аденозинтрифосфата, ресинтезированного гликолитически [31].

Креатинфосфокиназа (КФК) – фермент, содержащийся преимущественно в скелетных мышцах, сердечной мышце и мозговой ткани. Повышение активности КФК в крови свидетельствует о повреждении мышечных волокон. После интенсивных силовых тренировок активность КФК может возрастать в 5-10 раз, достигая пика через 24-72 часа [32].

Миоглобин – белок, связывающий кислород в мышечной ткани. При повреждении мышечных клеток миоглобин высвобождается в кровоток. Повышение уровня миоглобина наблюдается уже через 2-4 часа после нагрузки и является более ранним маркером мышечного повреждения по сравнению с КФК [33].

Гормональные маркеры – тестостерон и кортизол – отражают анаболический и катаболический статус организма соответственно [34]. Соотношение «тестостерон/кортизол» используется как интегральный показатель адаптационного состояния спортсмена [35]. Гормон роста и инсулиноподобный фактор роста-1 (ИФР-1) стимулируют синтез мышечного белка и активируют сателлитные клетки [36]. Исследования показывают, что программы тренировок, создающие выраженный метаболический стресс, вызывают более значительный рост уровня циркулирующего ИФР-1 по сравнению с высокоинтенсивными протоколами [37].

Маркеры воспаления: интерлейкин-6, маркер воспаления, относится к миокинам раннего ответа и может опосредовать увеличение количества миоядер за счет активации клеток-сателлитов [38]. С-реактивный белок отражает системный воспалительный ответ на тренировочную нагрузку [39].

Гематологические показатели – гемоглобин и гематокрит – характеризуют кислородтранспортную функцию крови. Снижение этих показателей может свидетельствовать о развитии спортивной анемии или физиологическом разбавлении крови в результате адаптации к нагрузкам [40].

Энергетический подход к оценке нагрузки, в отличие от эргометрического метода, ориентированного на регистрацию внешней механической работы, базируется на оценке метаболических затрат организма как основного критерия интенсивности нагрузки. Его теоретическая основа заключается в том, что физиологическая «цена» выполнения упражнения определяется суммарным объемом потребленной энергии, расходуемой как на генерацию внешнего усилия, так и на поддержание гомеостаза на клеточном, тканевом и системном уровнях. Центральным параметром данного подхода выступает кислородный запрос [41]. Наиболее точным методом прямого измерения энергозатрат является прямая калориметрия. Однако в спортивной практике преимущественно применяется непрямая калориметрия, основанная на анализе потребления кислорода (VO_2) и выделения углекислого газа (VCO_2), что позволяет рассчитать энергетический эквивалент кислорода и определить преобладающий субстрат окисления через дыхательный коэффициент. Преимуществами энергетического подхода являются универсальность сопоставления энергозатрат упражнений различной модальности и объективность измерений газообмена, не зависящих от субъективного восприятия утомления. Однако имеются ограничения, связанные с

необходимостью использования высокоточного лабораторного оборудования и трудностью интерпретации данных из-за вариабельности энергетического эквивалента кислорода и нелинейной зависимости механического коэффициента полезного действия от мощности. Энергетический подход устраняет ключевое ограничение эргометрического метода, обеспечивая прямую количественную оценку метаболической стоимости работы. Однако он не позволяет дифференцировать вклад отдельных функциональных систем (кардиореспираторной, нервно-мышечной, метаболической) в общий физиологический ответ, что является предметом физиологического (вегетативного) подхода.

Критический анализ литературы показывает, что ни один из рассмотренных подходов (эргометрический, физиологический или биохимический) не является самодостаточным для всесторонней оценки силовой нагрузки. Перспективным направлением является создание интегративных индексов, объединяющих параметры внешней работы, физиологической реакции и метаболических сдвигов. В этой связи особого внимания заслуживает подход, предложенный в работе [48], в рамках которого предпринята попытка создания универсального уравнения нарастания мышечной усталости, пригодного для использования в полевых условиях. Развитие методов машинного обучения и анализа многомерных данных открывает новые возможности для прогнозирования тренировочного эффекта на основе ограниченного набора предикторов. Необходимо также подчеркнуть важность учета индивидуальных особенностей реагирования на нагрузку. Как отмечено в обзоре [29], будущие исследования должны быть направлены не столько на поиск абсолютных физиологических маркеров, сколько на разработку методов, отражающих индивидуальную способность к адаптации.

Заключение. Анализ литературных источников показал, что использование пульсометрических показателей позволяет достоверно оценивать нагрузку без инвазивных процедур, однако требует учета биомеханических и гемодинамических особенностей конкретных упражнений.

Современная методология оценки нагрузки при выполнении силовых упражнений базируется на трех взаимодополняющих подходах: эргометрическом (количественная характеристика выполненной работы), физиологическом (оценка срочных реакций вегетативных и двигательных систем) и биохимическом (метаболический мониторинг, оценка повреждения мышечной ткани и гормонального статуса). Комплексное применение этих подходов позволяет не только повысить информативность тренировочного контроля, но и перейти к персонализированному планированию силовой подготовки, учитывающему индивидуальные особенности адаптации спортсмена.

Конфликт интересов. Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zatsiorsky, V.M. Science and Practice of Strength Training / V.M. Zatsiorsky, W.J. Kraemer. – Champaign: Human Kinetics, 2022. – 408 p.
2. Reliability of the One-Repetition Maximum Test Based on Muscle Action / D. Seo, E. Kim, Ch.A. Fahs [et al.] // Journal of Exercise Rehabilitation. – 2012. – Vol. 8. – No. 3. – P. 168-173.
3. The Importance of Muscular Strength: Training Considerations / T.J. Suchomel, S. Nimphius, Ch.R. Bellon, M.H. Stone // Sports Medicine. – 2018. – Vol. 48. – No. 4. – P. 765-785. DOI: 10.1007/s40279-018-0862-z.
4. Validity of Various Methods for Determining Velocity, Force, and Power in the Back Squat / H.G. Banyard, K. Nosaka, K. Sato, G.G. Haff // International Journal of Sports Physiology and Performance. – 2017. – Vol. 12. – No. 9. – P. 1170-1176. DOI: 10.1123/ijspp.2016-0627.
5. The Validity and Reliability of Commercially Available Resistance Training Monitoring Devices: A Systematic Review / J. Weakley, M. Morrison, A. García-Ramos [et al.] // Sports Medicine. – 2021. – Vol. 51. – No. 3. – P. 443-502. DOI: 10.1007/s40279-020-01382-w.
6. Kannus, P. Isokinetic evaluation of muscular performance: implications for muscle testing and rehabilitation / P. Kannus // International Journal of Sports Medicine. – 1994. – Vol. 15. – S. 1. – P. S11-S18. DOI: 10.1055/s-2007-1021104.
7. Reliability of lower extremity isokinetic strength testing in adults with stroke / P.S. Pohl, J.K.

Startzell, P.W. Duncan, D. Wallace // Clinical Rehabilitation. – 2000. – Vol. 14. – No. 6. – P. 601-607. DOI: 10.1191/0269215500cr367oa.
8. Baltzopoulos, V. Isokinetic dynamometry. Applications and limitations / V. Baltzopoulos, D.A. Brodie // Sports Medicine. – 1989. – Vol. 8. – No. 2. – P. 101-116. DOI: 10.2165/00007256-198908020-00003.
9. Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise / J.D. MacDougall, D. Tuxen, D.G. Sale [et al.] // Journal of Applied Physiology. – 1985. – Vol. 58. – No. 3. – P. 785-790.
10. Волков, Н.И. Интенсивность физических упражнений и энергетический обмен / Н.И. Волков, Д.Б. Никитюк, Н.Г. Озолин // Теория и практика физической культуры. – 2002. – № 8. – С. 2-6. [in English] Volkov N.I., Nikityuk D.B., Ozolin N.G. Intensity of physical exercises and energy metabolism. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2002, no. 8, pp. 2-6. (in Russ.)
11. Сонькин, В.Д. Развитие мышечной энергетики и работоспособности в онтогенезе / В.Д. Сонькин, Н.В. Тамбовцева. – М.: Советский спорт, 2010. – 280 с. [in English] Sonkin V.D., Tambovtseva N.V. Development of muscle energetics and performance in ontogenesis. Moscow: Soviet Sport, 2010. 280 p. (in Russ.)
12. Волков Н.И. Кислородный запрос и энергетическая стоимость напряженной мышечной деятельности человека / Н.И. Волков, И.А. Савельев // Физиология человека. – 2002. – Т. 28. – № 4. – С. 80-93. [in English] Volkov N.I., Savelev I.A. Oxygen demand and energy cost of intense muscular activity in humans. *Human Physiology*, 2002, vol. 28, no. 4, pp. 80-93. (in Russ.)
13. Король, В.М. Интенсивность накопления пульсового долга как критерий оценки анаэробной работоспособности / В.М. Король, В.Д. Сонькин, Л.И. Ратушная // Теория и практика физической культуры. – 1985. – № 10. – С. 12-15. [in English] Korol V.M., Sonkin V.D., Ratushnaya L.I. Intensity of pulse debt accumulation as a criterion for assessing anaerobic performance. *Theory and Practice of Physical Culture*, 1985, no. 10, pp. 12-15. (in Russ.)
14. Удельная интенсивность физиологических затрат при циклической работе различной мощности / А.В. Козлов, А.В. Ваваев, А.В. Якушкин [и др.] // Физиология человека. – 2022. – Т. 48. – № 1. – С. 18-25. [in English] Kozlov A.V., Vavaev A.V., Yakushkin A.V. et al. Specific intensity of physiological costs during cyclic operation of different power. *Human Physiology*, 2022, vol. 48, no. 1, pp. 18-25. (in Russ.)
15. Driss, T. The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: a critical review / T. Driss, H. Vandewalle // BioMed Research International. – 2013. – Vol. 2013. – P. 589361. DOI: 10.1155/2013/589361.
16. Banister, E.W. Modeling elite athletic performance / E.W. Banister // Physiol Behav. – 1991. – Vol. 347. – P. 403-422.
17. Morton, R.H. Modeling human performance in running / R.H. Morton, J.R. Fitz-Clarke, E.W. Banister // Journal of Applied Physiology. – 1990. – Vol. 69. – No. 3. – P. 1171-1177. DOI: 10.1152/jappl.1990.69.3.1171.
18. Buchheit, M. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis / M. Buchheit, P.B. Laursen // Sports Medicine. – 2013. – Vol. 43. – No. 5. – P. 313-338. DOI: 10.1007/s40279-013-0029-x.
19. Methods of monitoring the training and match load and their relationship to changes in fitness in professional youth soccer players / I. Akubat, E. Patel, S. Barrett, G. Abt // Journal of Sports Sciences. – 2012. – Vol. 30. – No. 14. – P. 1473-1480. DOI: 10.1080/02640414.2012.712711.
20. Edwards, S. The Heart Rate Monitor Book / S. Edwards. – Polar CIC, 1993. – 170 p.
21. Relation between Individualized Training Impulses and Performance in Distance Runners / V. Manzi, F. Iellamo, F. Impellizzeri [et al.] // Medicine and Science in Sports and Exercise. – 2009. – Vol. 41. – No. 11. – P. 2090-2096. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181a6a959.
22. A new approach to monitoring exercise training / C. Foster, J.A. Florhaug, J. Franklin [et al.] // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2001. – Vol. 15. – No. 1. – P. 109-115.
23. 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.
24. Exercise dose, exercise adherence, and associated health outcomes in the TIGER study / F.L. Miller, D.P. O'Connor, M.P. Herring [et al.] // Medicine and Science in Sports and Exercise. – 2014. – Vol. 46. – No. 1. – P. 69-75. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3182a038b9.
25. Zebrowska, A. Cardiovascular effects of the valsalva maneuver during static arm exercise in elite power lifting athletes / A. Zebrowska, Z. Gasior, D. Jastrzebski // Advances in Experimental Medicine and Biology. – 2013. – Vol. 755. – P. 335-342. DOI: 10.1007/978-94-007-4546-9_42.
26. Зациорский, В.М. Физические качества спортсмена: основы теории и методики воспитания / В.М. Зациорский. – М.: Спорт, 2020. – 320 с. [in English] Zatsiorsky V.M. Physical qualities of an athlete: fundamentals of theory and methodology of development. Moscow: Sport, 2020. 320 p. (in Russ.)
27. Gastin, P.B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise / P.B.

Gastin // Sports Medicine. – 2001. – Vol. 31. – No. 10. – P. 725-741. DOI: 10.2165/00007256-200131100-00003.
28. Оценка механической работы при выполнении силовых упражнений по ЧСС и потреблению кислорода / Н.И. Аньшаков, Р.В. Тамбовцева, А.В. Козлов [и др.] // Актуальные медико-биологические проблемы спорта и физической культуры: сборник материалов Международной научно-практической конференции (25 февраля 2026 года). – Часть 1. – С. 84-89. [in English] Anshakov N.I., Tambovtseva R.V., Kozlov A.V. et al. Evaluation of mechanical work during strength exercises based on heart rate and oxygen consumption. Current Medical and Biological Problems of Sports and Physical Culture: collection of materials of the International Scientific and Practical Conference (February 25, 2026), part 1, pp. 84-89. (in Russ.)
29. Borresen, J. The quantification of training load, the training response and the effect on performance / J. Borresen, M.I. Lambert // Sports Medicine. – 2009. – Vol. 39. – No. 9. – P. 779-795. DOI: 10.2165/11317780-000000000-00000.
30. Testosterone physiology in resistance exercise and training: the up-stream regulatory elements / J.L. Vingren, W.J. Kraemer, N.A. Ratamess [et al.] // Sports Medicine. – 2010. – Vol. 40. – No. 12. – P. 1037-1053. DOI: 10.2165/11536910-000000000-00000.
31. Velloso, C.P. Regulation of muscle mass by growth hormone and IGF-I / C.P. Velloso // British Journal of Pharmacology. – 2008. – Vol. 154. – No. 3. – P. 557-568. DOI: 10.1038/bjp.2008.153.
32. Clarkson, P.M. Exercise-induced muscle damage in humans / P.M. Clarkson, M.J. Hubal // American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation. – 2002. – Vol. 81. – No. 11. – P. S52-S69. DOI: 10.1097/00002060-200211001-00007.
33. Schoenfeld, B.J. Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training / B.J. Schoenfeld // Sports Medicine. – 2013. – Vol. 43. – No. 3. – P. 179-194. DOI: 10.1007/s40279-013-0017-1.
34. Pedersen, B.K. Adolph distinguished lecture: muscle as an endocrine organ: IL-6 and other myokines / B.K. Pedersen, F. Edward // Journal of Applied Physiology. – 2009. – Vol. 107. – No. 4. – P. 1006-1014. DOI: 10.1152/japplphysiol.00734.2009.
35. Febbraio, M.A. Contraction-induced myokine production and release: is skeletal muscle an endocrine organ? / M.A. Febbraio, B.K. Pedersen // Exercise and Sport Sciences Reviews. – 2005. – Vol. 33. – No. 3. – P. 114-119. DOI: 10.1097/00003677-200507000-0000.
36. Tidball, J.G. Mechanisms of muscle injury, repair, and regeneration / J.G. Tidball // Comprehensive Physiology. – 2011. – Vol. 1. – No. 4. – P. 2029-2062. DOI: 10.1002/cphy.c100092.
37. Schmidt, W. Impact of alterations in total hemoglobin mass on VO_2max / W. Schmidt, N. Prommer // Exercise and Sport Sciences Reviews. – 2005. – Vol. 33. – No. 2. – P. 68-75. DOI: 10.1097/JES.0b013e3181d4957a.
38. Interleukin-6 Is an Essential Regulator of Satellite Cell-Mediated Skeletal Muscle Hypertrophy / A.L. Serrano, B. Baeza-Raja, E. Perdiguero [et al.] // Cell Metabolism. – 2008. – Vol. 7. – No. 1. – P. 33-44.
39. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science / V.L. Billat, P. Sirvent, G. Py [et al.] // Sports Medicine. – 2003. – Vol. 33. – No. 6. – P. 407-426. DOI: 10.2165/00007256-200333060-00003.
40. Heck, H. The origin of the maximal lactate steady state (MLSS) / H. Heck, H. Wackerhage // BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation. – 2024. – Vol. 16. – No. 1. – P. 36. DOI: 10.1186/-s13102-024-00827-3.
41. Бреслав, И.С. Дыхание и мышечная активность человека в спорте / И.С. Бреслав, Н.И. Волков, Р.В. Тамбовцева. – М.: Советский спорт, 2013. – 336 с. [in English] Breslav I.S., Volkov N.I., Tambovtseva R.V. Breathing and muscle activity in sports. Moscow: Sovetskij Sport, 2013. 336 p. (in Russ.)
42. Raven, P.B. Arterial baroreflex resetting during exercise: a current perspective / P.B. Raven, P.J. Fadel, S. Ogoh // Experimental Physiology. – 2006. – Vol. 91. – No. 1. – P. 37-49. DOI: 10.1113/expphysiol.2005.032250.
43. Tucker, W.J. Excess Postexercise Oxygen Consumption After High-Intensity and Sprint Interval Exercise / W.J. Tucker, S.S. Angadi, G.A. Gaesser // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2016. – Vol. 30. – No. 11. – P. 3090-3097. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001399.
44. 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. – Москва, 2025. – С. 14–18. [in English] Anshakov N.I., Tambovtseva R.V., Khajretdinova G.A., Kozlov A.V. Study of the relationship between pulse indicators and blood lactate concentration depending on the mode of strength exercise. Sport – the Road to Peace between People: materials of the IX International Scientific and Practical Conference. Moscow, 2025. pp. 14-18. (in Russ.)
45. Schoenfeld, B.J. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training / B.J. Schoenfeld // Journal of Strength and

Conditioning Research. – 2010. – Vol. 24. – No. 10. – P. 2857-2872. DOI: 10.1519/JSC.0b0 13e3181e840f3.
46. González-Badillo, J.J. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training / J.J. González-Badillo, L. Sánchez-Medina // International Journal of Sports Medicine. – 2010. – Vol. 31. – No. 5. – P. 347-352. DOI: 10.1055/s-0030-1248333.
47. Биохимия мышечной деятельности / Н.И. Волков, Э.Н. Несен, А.В. Осипенко, С.Н. Корсун. – Киев: Олимпийская литература, 2000. – 504 с. [in English] Volkov N.I., Nesen E.N., Osipenko A.V., Korsun S.N. Biochemistry of muscle activity. Kiev: Olimpijskaya literatura, 2000. 504 p. (in Russ.)
48. A muscle physiology-based framework for quantifying training load in resistance exercises / F. Imbach, S. Perrey, T. Brioche, R. Candau // Sports. – 2025. – Vol. 13. – No. 1. – P. 13. DOI: 10.3390/-sports13010013.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Николай Иванович Аньшаков – аспирант кафедры биохимии и биоэнергетики спорта РУС «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: anshakov.nikolya@mail.ru.
Ритта Викторовна Тамбовцева – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Биохимии и биоэнергетики спорта им. Н.И. Волкова», РУС «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: ritta7@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Nikolaj I. Anshakov – Postgraduate Student of the Department of Biochemistry and Bioenergy of Sports, Russian University of Sport "GTSOLIFK", Moscow, e-mail: anshakov.nikolya@mail.ru.
Ritta V. Tambovtseva – Doctor of Biological Sciences, Professor. Head of the Department of Biochemistry and Bioenergy of Sports named after N.I. Volkov, Russian University of Sport "GTSOLIFK", Moscow, e-mail: ritta7@mail.ru.

Для цитирования: Аньшаков, Н.И. Научные подходы к анализу и оценке физической нагрузки при выполнении силовых упражнений / Н.И. Аньшаков, Р.В. Тамбовцева // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 2(37). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_02_1

For citation: Anshakov N.I., Tambovtseva R.V. Scientific approaches to assessing physical loads during strength exercises. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 2(37). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_02_1