На правах рукописи

Аньшаков Николай Иванович

НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТРЕНИРОВОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ У СПОРТСМЕНОВ НА ОСНОВЕ ПУЛЬСОМЕТРИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СИЛОВЫХ УПРАЖНЕНИЙ

1.5.5. Физиология человека и животных

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК».

Научный руководитель: **ТАМБОВЦЕВА Ритта Викторовна**
доктор биологических наук, профессор

Официальные оппоненты:

СЕНТЯБРЕВ Николай Николаевич
доктор биологических наук, профессор,
профессор кафедры медико-биологических дисциплин
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградская государственная академия физической культуры»

МЕЩЕРЯКОВ Алексей Викторович
кандидат биологических наук, доцент,
доцент кафедры физической культуры и спорта факультета подготовки авиационных специалистов
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта»

Защита состоится «09» декабря 2026 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета 38.2.007.02 при РУС «ГЦОЛИФК» по адресу: 105122, Москва, Сиреневый бульвар, дом 4, аудитория 603.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РУС «ГЦОЛИФК» и на сайте https://gtsolifk.ru/nauka/dissertatsionniy_sovet/zaschiti_dissertatsiy

Автореферат разослан «____» _____ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета — Мирошников Александр Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования и степень разработанности проблемы. Сила, как физическое качество – основа соревновательных результатов в силовых видах спорта. Единица измерения – ньютон. Наиболее распространенной мерой силы для поднятия веса – максимальный вес, который можно поднять один раз или одно максимальное повторение (1 ПМ, кг). Силовая работа различной интенсивности обеспечивается с помощью трёх биоэнергетических систем организма: креатинфосфокиназной (алактатной), гликолитической (лактатной) и аэробной (кислородной). При этом у спортсменов разных специализаций вклад различных энергетических систем во время силовой работы различается (Bompa T. O. и др., 2018). Другими словами, структура энергообеспечения зависит от режима работы (и тренированности спортсмена). С увеличением интенсивности и снижением продолжительности предельной силовой работы увеличивается доля вкладов анаэробных механизмов энергообеспечения. При интенсивных физических нагрузках максимальной, околомаксимальной и субмаксимальной анаэробной мощности, ресинтез АТФ обеспечивается преимущественно фосфагенной и лактационной энергетическими системами (Коц Я.М., 1986; Тамбовцева Р. В., 2024). При этом происходит адаптивное повышение мощности и емкости креатинфосфокиназного (алактатного) и гликолитического (лактатного) механизмов энергообеспечения.

Для выполнения задач тренировки важно подбирать массу тренировочного снаряда и режим выполнения упражнения, ориентируясь на интенсивность и структуры физиологических затрат упражнения, которые будут определять направленность тренировочного занятия и обеспечивать соответствующие специфические эффекты адаптации (Schoenfeld B. J., 2010; González-Badillo J. J. и др., 2010).

Под физиологической интенсивностью понимается степень функционального напряжения и мобилизации вегетативных, метаболических и нервно-мышечных систем организма в ответ на выполнение внешней механической работы. В отличие от внешней (эргометрической) интенсивности, которая измеряется в механических единицах (например, мощность в ваттах (Вт) или работа в джоулях (Дж), физиологическая интенсивность количественно выражается через физиологические маркеры нагрузки. Так как спортсмены выполняют существенный объём внешней механической работы в тренировочный и соревновательный период, необходимо сопоставлять внешнюю нагрузку с физиологическими затратами, основываясь на индивидуальных физиологических показателях. Сопоставление показателей внешней нагрузки с физиологическими затратами позволяет гарантировать, что внешняя нагрузка попадает в целевую зону физиологической интенсивности упражнения и обеспечивает соответствующие эффекты адаптации.

Оценить интенсивность и структуру физиологических затрат силового упражнения возможно по объемам потребления кислорода во время работы и в восстановительный период, учитывая предстартовую и максимальную концентрацию

лактата в крови - прямого маркера анаэробного гликолиза (Izquierdo M. и др., 2006; Scott C. B., 2006).

В основе планирования силовых тренировок с тяжелоатлетической штангой лежит эргометрический подход, который заключается в непосредственном измерении объёма и интенсивности выполняемой механической работы (Зациорский В.М., 2020). В то же время эргометрические методы не дают возможности оценить физиологические параметры силовой работы. При этом измерение концентрации лактата в крови, использование газоаналитического оборудования требует инвазивного вмешательства, специалистов соответствующей квалификации и дорогостоящего оборудования. Поэтому для анализа физиологических параметров силовой нагрузки, простейшим для использования являются пульсометрические показатели, основанные на измерении частоты сердечных сокращений (ЧСС) в процессе выполнения нагрузки и в восстановительном периоде после неё.

Степень разработанности проблемы: Оценить физиологическое напряжение организма в упражнениях анаэробного и смешанного характера с высокой степенью чувствительности позволяет показатель ИНПД (интенсивность накопления пульсового долга), который характеризует скорость накопления пульсового долга в упражнении предложенный Король В. М. и др. (Король В. М., 1985, Сонькин В.Д., 2023). Этот показатель эффективен для оценки нагрузок, обеспечение которых связано с преобладанием анаэробного метаболизма. Однако метод не учитывает физиологические затраты во время выполнения упражнения (аэробный вклад). Н. И. Волков и др. (2002) для оценки метаболической мощности выполняемого упражнения использовали расчёт энергетических затрат (по потребленному кислороду) в единицах максимального метаболического уровня - MMR. Метод информативен, но требует сложной измерительной техники и специалистов высокого уровня и не может использоваться в рутинной тренировочной подготовке.

Метод, предложенный Волковым Н. И. и др. (2005) для оценки интенсивности упражнения, рассчитанный по скорости образования пульсового запроса, является наиболее информативным и доступным. Однако, метод не позволяет определить, на каком уровне относительно своих максимальных возможностей выполнена работа, не позволяет сравнивать разных спортсменов и отягощен сложными расчетами.

В работах Козлов А. В. и др. (2022, 2026) изучалась структура и удельная интенсивность физиологических затрат (УИФЗ) – рассчитывалась по измерениям ЧСС) при выполнении предельных циклических упражнений разной мощности. Также анализировались пульсометрические маркеры, позволяющие оценивать физиологическую интенсивность упражнения, суммарную дозу перенесённой физической работы и пр. Исследования выявили, что показатель УИФЗ (рассчитанный по измерениям ЧСС) аналогичен MMR, который рассчитывался по потреблению кислорода. Результаты этих исследований стали основой для индивидуальной оценки интенсивности и структуры физиологических затрат в силовых упражнениях, и определения дозы воздействия нагрузки.

Настоящая работа посвящена поиску информативных, неинвазивных и удобных в использовании методов оценки силовой нагрузки в различных режимах работы, основанных на сопоставлении внешней механической работы с физиологическими затратами.

Гипотеза исследования: предполагается, что пульсометрические методы измерения и оценки предельной силовой нагрузки будут такими же информативными, как и аналогичные газометрические и инвазивные.

Цель исследования – определить физиологические параметры физической нагрузки при выполнении предельной силовой работы в различных режимах и доказать их информативность.

В задачи работы входит:

1) Определить удельную интенсивность физиологических затрат и структуру энергообеспечения работы при выполнении предельных силовых упражнений в различных режимах (от 50% до 100% от 1ПМ) и установить характер взаимосвязей этих показателей с аналогичными показателями (рассчитанными по потреблению кислорода), а также с внешней механической интенсивностью нагрузки и со скоростью накопления лактата;

2) Оценить величину перенесенного физиологического напряжения и величину анаэробного и установить характер взаимосвязи данных показателей с эргометрическими параметрами и биохимическими маркерами при выполнении предельных силовых упражнений;

3) Количественно оценить и обосновать границы зон интенсивности в силовой подготовке с применением неинвазивных методов пульсометрического мониторинга.

Научная новизна:

Принципиально новыми являются результаты, полученные при разработке и валидации неинвазивного пульсометрического метода оценки внутренней нагрузки в силовых упражнениях. Впервые предложен способ количественной оценки удельной интенсивности физиологических затрат (УИФЗчсс), структуры энергообеспечения (анаэробный вклад, расчитанный по ЧСС - АнВчсс) и объема перенесенного физиологического напряжения (нагрузочная экспозиция - НЭчсс и её анаэробная часть - НЭанчсс) на основе интегральных пульсовых сумм, рассчитываемых на основе динамики ЧСС. Доказано, что данные пульсометрические показатели обладают высокой информативностью и демонстрируют тесные взаимосвязи с референтными газометрическими критериями во всем исследованном диапазоне интенсивностей от 50% до 100% от 1ПМ.

Впервые установлено, что пульсометрические показатели систематически превышают аналогичные газометрические величины в зависимости от режима нагрузки, что обусловлено комплексным характером хронотропного ответа частоты сердечных сокращений на силовую работу. Показано, что ЧСС отражает не только энергозатраты, но и совокупность гемодинамических, терморегуляторных и нейрогуморальных реакций, направленных на поддержание гомеостаза, включая влияние маневра Вальсальвы на венозный возврат в горизонтальных упражнениях.

Новые данные получены при изучении взаимосвязи анаэробной части нагрузочной экспозиции (НЭанчсс) с биохимическими маркерами метаболического стресса (которые рассчитывались по концентрации лактата в капиллярной крови). Выявлены высокие экспоненциальные зависимости между относительным анаэробным вкладом и скоростью накопления лактата (СΔЛа) во всех исследованных упражнениях, а также устойчивые линейные связи НЭанчсс с максимальной концентрацией лактата в крови. На основе этих результатов обоснована роль лактата не только как индикатора утомления, но и как сигнального метаболита, инициирующего каскад адаптационных реакций скелетной мускулатуры.

Впервые количественно обоснованы и верифицированы границы зон интенсивности силовой подготовки на основе неинвазивных пульсометрических показателей. Установлено, что режимы 70–50% от 1ПМ, - с более высокими значениями НЭ и ее анаэробной частью (НЭанчсс) создают условия для выраженного метаболического стресса и целенаправленной стимуляции механизмов мышечной гипертрофии (Schoenfeld B. J. и др., 2021; Currier B. S. и др., 2026), тогда как режимы с доминированием алактатных механизмов при высоком УИФЗчсс и низкой НЭ и НЭанчсс (100–90% от 1ПМ) ориентированы на развитие максимальной силы и мощности. Разработанный подход позволяет дозировать тренировочную нагрузку и управлять направленностью адаптационных перестроек без применения инвазивных или лабораторных методов.

Теоретическая значимость исследования: Результаты показали, что у спортсменов во время предельных силовых упражнений в разных режимах оценка интенсивности энергозатрат по потреблению кислорода и по ЧСС даёт согласованные результаты: оба метода фиксируют одинаковую зависимость от интенсивности выполняемой работы. Однако при сопоставлении относительных величин пульсометрические показатели интенсивность энергозатрат (УИФЗ) и объема перенесенного физиологического напряжения (нагрузочная экспозиция - НЭчсс и её анаэробная часть - НЭанчсс) оказываются выше аналогичных газометрических. Это связано с тем, что сердце начинает усиленно работать не только для того, чтобы доставлять кислород к работающим мышцам, но и по другим причинам: терморегуляция, гормональный ответ, накопление метаболитов и работа мышц (Kraemer W. J. и др., 2005; Archacki D. и др., 2024; Yang W.H. и др., 2020; Messonnier L. A. и др., 2021; Jose A. D., 1970; Scott C. B., 2005). Таким образом, ЧСС реагирует на совокупность всех стрессовых факторов нагрузки, а не только на потребность в кислороде, что позволяет использовать её как более комплексный показатель общей нагрузки на организм.

Практическая значимость: предложенными пульсометрическими показателями возможно определять «физиологическую цену» силовой нагрузки, оплаченную функциональными системами организма в процессе выполнения работы и в восстановительном периоде для поддержания баланса внутренней среды.

Предложенные алгоритмы расчета пульсометрических показателей позволяют:

1. Количественно оценить степень физиологического напряжения.

2. Выявить преобладающий механизм энергообеспечения упражнения на основе относительного вклада анаэробных процессов в выполненную работу.

Количественная оценка тренировочного воздействия выполнена с применением указанных алгоритмов. Расчётные формулы и порядок их использования приведены в методическом разделе работы. Использование этих приемов может позволить тренеру точнее оценивать функциональное состояние спортсмена, что в итоге может привести к более качественному текущему контролю и даст возможность индивидуально дозировать нагрузку.

Методология и методы исследования. Методологическую основу работы составляют три взаимосвязанных компонента:

1. Современные представления о биоэнергетике мышечной работы;
2. Установленные закономерности функционального ответа организма на дозированную и предельную нагрузку;
3. Действующие подходы к мониторингу физиологического состояния в системе спортивной подготовки.

Методологическую основу исследования составляют современные научные представления об энергетике мышечной деятельности, физиологических реакциях организма на физическую нагрузку и методах физиологического контроля в тренировочном процессе, представленные в фундаментальных трудах В.С. Фарфеля, P.O. Astrand, R. Margaria, Н.И. Волкова, Я.М. Коца, И.А. Корниенко, Р.В. Тамбовцевой. Дополнительно использованы экспериментальные и теоретические работы сотрудников и аспирантов кафедры физиологии Российского университета спорта «ГЦОЛИФК» (В.Д. Сонькин, А.В. Козлов), посвящённые оценке физической нагрузки и исследованию механизмов адаптации к спортивным нагрузкам.

Положения, выносимые на защиту:

1. Показатели удельной интенсивности физиологических затрат (УИФЗчсс) и относительного анаэробного вклада (АнВчсс) обладают высокой информативностью для оценки интенсивности и структуры энергообеспечения силовых упражнений в режимах 100–50% от 1ПМ, что подтверждается тесными взаимосвязями с аналогичными показателями, рассчитанными по потреблению кислорода, и скоростью накопления лактата при выполнении базовых силовых упражнений (жим лежа, приседание, становая тяга).
2. Показатель нагрузочной экспозиции (НЭчсс), рассчитанный на основе пульсометрии, может быть использован для оценки перенесенного физиологического напряжения, как косвенная характеристика объема выполненной механической работы и величины накопленного лактата при выполнении силовых упражнений в различных режимах интенсивности, что подтверждается тесными линейными взаимосвязями с аналогичными показателями, рассчитанными по потреблению кислорода, а также с объемом внешней механической работы и максимальным приростом лактата в крови.
3. Анаэробная часть нагрузочной экспозиции (НЭанчсс) может быть использована для косвенной оценки «анаэробности» силовых упражнений в режимах

100–50% от 1ПМ, что подтверждается тесными взаимосвязями с максимальной концентрацией лактата в крови и величиной кислородного долга.

Степень достоверности и апробация результатов: теоретическая подготовка исследования опирается на анализ современных российских и зарубежных источников, что позволило сформировать методологическую основу для оценки энергообеспечения силовой мышечной работы и контроля физиологических параметров физической нагрузки. Эмпирическая достоверность подтверждена применением комплекса валидированных инструментальных методов (газоанализ, биохимический анализ лактата, линейная энкодерная эргометрия) и строгой статистической обработкой массива данных из 237 биохимических, 237 пульсометрических, 237 эргометрических и 228 газометрических и 24 антропометрических измерений. Эффективность разработанных алгоритмов расчёта удельной интенсивности физиологических затрат (УИФЗчсс), нагрузочной экспозиции (НЭчсс) и индивидуальной дозы воздействия нагрузки отражена в высоких коэффициентах взаимосвязи пульсометрических и газометрических показателей, тесных взаимосвязях внешней механической нагрузки и внутренней (биохимические и физиологические) нагрузки, а также апробирована посредством анализа реальных тренировочных сессий и сравнительного анализа индивидуальных показателей двух спортсменов различной специализации и квалификации при выполнении базовых силовых упражнений. Основные положения и результаты исследования неоднократно обсуждались на научных конференциях различного уровня и опубликованы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных РИНЦ, Scopus и Web of Science, что подтверждает их научную значимость и поддержку академическим сообществом.

Апробация результатов исследования: результаты исследований обсуждались и докладывались на конференциях: XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых на английском языке «Спортивная наука в высшем образовании» (Москва, 2023г.); XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых на английском языке «Спортивная наука в высшем образовании» (Москва, 2024г.); IX научно-практической конференции с международным участием «Спорт – дорога к миру между народами». (г. Москва, 2025 г.); IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием студентов и молодых ученых «Молодые – науке» (г. Москва, 2025 г.); X Всероссийской научно-практической конференции по управлению движением с международным участием «Motor control 2025» (г. Казань, 2025 г.); Международной научно-практической конференции «Актуальные медико-биологические проблемы спорта и физической культуры» (г. Волгоград, 2025 г.). XI Всероссийской научно-практической конференции по управлению движением с международным участием «Motor control 2026» (г. Великие Луки, 2026 г.);

Результаты исследования опубликованы в 10 научных работах, включая 6 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ. Их них 3 - в изданиях, индексируемых в международных наукометрических базах данных Scopus и Web of Science Core Collection.

Личный вклад соискателя является определяющим и включает самостоятельное планирование и организацию экспериментальной части исследования, непосредственное проведение тестирования, математико-статистическую обработку полученных данных, интерпретацию результатов, а также подготовку научных публикаций, тезисов докладов и написание всех структурных разделов диссертационной работы.

Соответствие паспорту научной специальности. Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 1.5.5. Физиология человека и животных (биологические науки): 1. Закономерности и механизмы нервной и гуморальной регуляции, а также генетических, молекулярных и биохимических процессов, определяющих динамику и взаимодействие физиологических функций; 4. Закономерности функционирования основных систем организма (нервной, внутренней секреции, иммунной, сенсорной, двигательной, крови, кровообращения, лимфообращения, дыхания, выделения, пищеварения, репродуктивной и др.) при различных состояниях организма; 12. Разработка новых методов исследований функций животных и человека.

Структура диссертации. Работа изложена на 143 страницах, содержит введение, 3 главы, выводы, список литературы. Диссертация иллюстрирована 19 таблицами и 20 рисунками. Список литературы включает 181 источников, из них 147 – на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрены физиологические основы энергообеспечения мышечной деятельности при выполнении силовых упражнений, включая вклад аэробных и анаэробных (алактатного и лактатного) механизмов в зависимости от интенсивности и продолжительности нагрузки. Подробно описаны традиционные методы оценки внутренней нагрузки в спортивной физиологии: прямая и непрямая калориметрия, биохимический контроль концентрации лактата в крови, а также их методологические ограничения. Отдельно рассмотрены возможности пульсометрического мониторинга как неинвазивного инструмента оценки физиологического напряжения, где показано, что ЧСС отражает не только энергозатраты, но и комплекс гемодинамических, терморегуляторных и нейрогуморальных реакций (Buchheit M., Laursen P.B., 2013). Проанализированы литературные данные о современных научных подходах к анализу и оценке работоспособности. Сформулирована проблема исследования: необходимость разработки и валидации неинвазивных пульсометрических показателей для количественной оценки удельной интенсивности физиологических затрат, структуры энергообеспечения и объема перенесенного физиологического напряжения при выполнении предельных силовых упражнений в различных режимах работы.

Во второй главе представлен дизайн исследования, характеристика контингента, методы и инструментальные методики исследования.

Исследования проводились в 2024–2025 годах на базе Центра спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд Москомспорта и Российского университета спорта.

Таблица 1 – Организация и этапы исследования

№	Этап исследования	Содержание этапа исследования
1	Разработка дизайна эксперимента	2022-2023 гг. Определены цели, задачи и гипотеза исследования. Разработан протокол исследования и предварительно согласован с испытуемыми. Выявлены ключевые параметры, которые будут использоваться для оценки успешности эксперимента. Определен необходимый размер выборки для получения статистически значимых результатов. Составлен необходимый перечень измерительной аппаратуры.
2	Измерение антропометрических показателей. Определение максимальных функциональных возможностей (МПК и ЧССмакс). Определение одноповторного максимума (1ПМ) и непосредственное выполнение базовых силовых упражнений. Измерение тренировок.	2024-2025 гг. Для определения МПК и предельной ЧСС использовалось тест с повышением нагрузкой до волевого отказа на беговом тредбане. 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. Измерение и оценка показателей 2 спортсменов при выполнении идентичных по интенсивности тренировок в разных режимах работы.
3	Анализ и обработка полученных данных.	2025-2026 гг. Расчет эргометрических, биохимических и физиологических показателей. Статистическая обработка данных и выявление корреляционных связей между показателями.

Исследование выполнено в дизайне с повторными измерениями на одном и том же контингенте испытуемых. Каждый из спортсменов выполнял три базовых силовых упражнения в шести режимах интенсивности. Тестирование трёх базовых движений (становая тяга, жим штанги лёжа, приседания со штангой) проводилось в строгой последовательности. Каждое упражнение назначалось на отдельный тренировочный день, а между тестированием разных движений предусматривался двухдневный перерыв для восстановления нервно-мышечной системы. Перед началом серии подходов в каждом упражнении определялся индивидуальный одноповторный максимум (1ПМ). Нагрузку дозировали путём последовательного снижения относительной интенсивности: 100, 90, 80, 70, 60 и 50 % от установленного 1ПМ. В покое, в работе и в восстановлении непрерывно измеряли потребление O2, ЧСС, а также концентрацию лактата в крови.

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 периоде своей спортивной подготовки. От каждого было получено информированное согласие на участие в исследовании.

Таким образом, для каждого упражнения получено 72 измерения, что обеспечивает достаточную статистическую мощность для выявления закономерностей в группе испытуемых. Всего в ходе исследования выполнено 963 измерения, из них: биохимических — 237, пульсометрических — 237, эргометрических — 237,

газоаналитических — 228, антропометрических — 24.

В работе мы использовали различные методы исследования, в том числе:

1. Антропометрические – измеряли длину тела с помощью антропометра Tanita (с точностью ± 0,1 см), Анализ состава тела и массы (кг) с помощью анализатора InBody;

2. Эргометрические – измеряли вертикальное перемещение штанги, время концентрической и эксцентрической фазы движения, среднюю и пиковую скорость, среднюю и пиковую мощность с помощью линейного тросикового энкодера GymAware (Kinetic Performance Technology, Australia), скорость с помощью беговой дорожки h/p/cosmos 300/125(Германия);

3. Газометрические - измеряли V`E (±2%), $V`O_2$ (±0,1%), $V`CO_2$±(0,1%), с помощью газоанализатора Cortex Metalyzer 3B (Германия);

4. Пульсометрические - измеряли ЧСС с помощью кардиомонитора Polar H10 (Polar, Финляндия), ±2 уд/мин;

5. Биохимические – измеряли концентрацию лактата в капиллярной крови с помощью портативного анализатора Lactate Plus (Nova Biomedical, США);

6. Расчетные методы;

7. Статистические с использованием программных пакетов Statistica (версия 12.0), MS Excel и среды R (версия 3.5.1)

Алгоритм расчета эргометрических, биохимических и физиологических показателей представлен в таблице №1.

Таблица 2 – Порядок расчета эргометрических, биохимических и физиологических показателей

Показатели по потреблению O_2		
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 (*ΔЧССмакс*, уд/мин): разница между максимальной ЧСС (*ЧССмакс,* определяется в рамп-тесте) и предстартовым уровнем ЧСС в упражнении *(ЧССпр)*
$УИФЗ_{чсс.}$	= 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 *ΔЧССмакс*
$АнВ_{чсс.}$	= 100×ПД / ПЗ	Вклад анаэробных процессов (*$АнВ_{чсс}$*, %) в общем энергообеспечении работы, рассчитанный по пульсовым суммам: отношение пульсового долга к пульсовому запросу
$НЭ_{чсс}$	= t×$УИФЗ_{чсс}$	Нагрузочная экспозиция (*$НЭ_{чсс}$*, мин), объем физиологической работы в упражнении, рассчитанная по пульсовым суммам

Продолжение таблицы 2

НЭан$_{чсс}$	= АнВ$_{чсс}$×НЭ$_{чсс}$	Анаэробная часть нагрузочной экспозиции (*НЭан$_{чсс}$*, мин), рассчитанная по пульсовым суммам
ДНчсс	= Wупр × НЭчсс × 60 / 1000	доза воздействия нагрузки (кДж/кг), рассчитанная по пульсовым суммам:
ДНанчсс	= Wупр ×НЭанчсс× 60 / 1000	анаэробная часть дозы воздействия физической нагрузки, рассчитанная по пульсовым суммам (кДж/кг)

Примечание: расчеты производились согласно разработанной методике (Козлов А.В., Аньшаков Н.И. и др., 2026).

Статистическая обработка данных выполнялась в программе Statistica 12.0. с предварительной проверкой на нормальность распределения с помощью критерия Шапиро–Уилка. Для описания центральной тенденции и разброса значений в зависимости от характера распределения использовались показатели, подчиняющиеся закону ненормального распределения: медиана (Me), межквартильный размах (IQR). Для исследования силы связи между показателями, в зависимости от нормальности распределения был использован корреляционный анализ методом Пирсона или ранговой корреляции Спирмена (Гланц С., 1998). Статистическая значимость связей оценивалась по двустороннему критерию при уровне α=0,05. В исследовании все выявленные корреляции достигли уровня p <0,001, что подтверждает высокую надёжность результатов. Анализ направлен на выявление взаимосвязей между параметрами нагрузки и физиолого-биохимическими показателями с использованием стандартных средств визуализации и верификации данных.

Анализ и оценка силовых упражнений в различных режимах работы

Ключевая идея исследований состоит в том, чтобы проверить возможность использования ряда расчетных показателей (удельная интенсивность физиологических затрат, относительный анаэробный вклад, доза нагрузки, нагрузочная экспозиция и их анаэробные части) для определения интенсивности упражнения и количественной оценки степени тяжести перенесенной физической нагрузки в ответ на определенный уровень внешней механической работы при выполнении силовых упражнений. Основное преимущество данного подхода в оценке нагрузки — методическая простота и удобство измерения в контексте реального тренировочного процесса.

Среднегрупповые антропометрические и максимальные функциональные показатели испытуемых, представлены в таблице 3. Результаты исследований представлены в таблицах 3 – 13 и на рисунках 1 – 6.

Таблица 3 – Антропометрические и максимальные функциональные показатели (X ± σ) участников исследования по результатам рамп-теста (n = 12)

Масса тела	***МПК$_{абс}$***	***МПК$_{отн}$***	***ЧСС$_{макс}$***	***V$_{макс}$***
кг	*л/мин*	*мл/мин/кг*	*уд/мин*	*км/ч*
77,8±2,9	3,83±0,18	49,3±6,1	195 ± 12	14,9±1,9

Таблица 4 – Эргометрические и физиологические показатели исследования (Me [IQR]), полученные в упражнении «жим лежа» до предела в режиме 100,90,80,70,60,50% от 1ПМ, (n=72)

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, количество повт.	1[0]	4[1]	8[2]	15[2]	21[4]	30[2]
t, мин	0,36[0,0]	0,36[0,0]	0,37[0,0]	0,36[0,1]	0,37[0,0]	0,37[0,1]
h, м	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	3,6[1,0]	13,7[7]	24,6[9]	38,9[10]	50,0[17]	73,4[18]
ПСв	118[47]	160[62]	182[41]	200[54]	207[45]	224[49]
$УИФЗ_{O2}$	5,5[4,2]	2,3[1,5]	1,6[0,7]	1,2[0,5]	1,1[0,4]	1,0[0,3]
$УИФЗ_{ЧСС}$	12,2[6,0]	5,1[2,1]	3,5[0,4]	2,8[0,4]	2,4[0,6]	2,1[0,5]
$АнВ_{O2}$, %	97[1,6]	94[3,6]	90[6,2]	85[3,5]	81[5,8]	80[6,3]
$АнВ_{ПС}$, %	97[1,6]	94[3,6]	90[6,2]	85[3,5]	81[5,8]	80[6,3]
максЛа, ммоль/л	97[1,5]	92[3,2]	88[3,6]	83[6,4]	80[6,2]	75[6,0]
СΔЛа, ммоль/л/мин	2,03[0,3]	3,4[0,7]	4,4[1,1]	5,8[0,7]	6,5[1,0]	7,1[0,7]
$вес_{шт}$, кГ	15,5[2,9]	11,1[2,2]	8,9[2,9]	7,3[1,1]	6,5[1,1]	5,4[1,2]

Таблица 5 – Эргометрические и физиологические показатели исследования (Me ± IQR), 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, количество повт.	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]
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]
$УИФЗ_{O2}$	7,0[2,9]	2,7[0,9]	2,3[0,8]	1,9[0,7]	1,6[0,7]	1,4[0,4]
$УИФЗ_{ЧСС}$	14,4[10,3]	4,6[2,2]	3,7[1,3]	3,2[0,8]	2,7[0,3]	2,3[0,4]
$АнВ_{O2}$, %	98[1,0]	93[2,7]	89[5,4]	80[11,2]	74[9,2]	66[9,3]
$АнВ_{ПС}$, %	98[1,1]	90[3,5]	87[4,8]	79[8,6]	75[5,9]	68[8,2]
максЛа, ммоль/л	2,0[0,5]	4,4[1,4]	5,7[0,9]	7,8[2,1]	8,5[2,8]	11,3[3,6]
СΔЛа, ммоль/л/мин	14,6[3,8]	9,4[2,4]	7,1[2,6]	6,7[1,5]	6,5[2,1]	5,9[1,7]

Таблица 6 – Эргометрические и физиологические показатели исследования (Me ± IQR), 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						

Продолжение таблицы 6

$вес_{шт}$, кГ	111[25]	100[23]	89[20]	78[17]	66[15]	55[13]
n, количество повт.	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]
$рО_2$, 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]
$УИФЗ_{О2}$	6,7[3,9]	2,6[0,9]	2,0[0,5]	1,6[0,2]	1,4[0,2]	1,3[0,3]
$УИФЗ_{ЧСС}$	14,9[9,6]	4,5[1,0]	3,6[0,5]	2,7[0,4]	2,3[0,4]	2,0[0,3]
$АнВ_{О2}$, %	98[1,3]	92[3,1]	85[7,2]	74[6,4]	64[7,7]	58[15,5]
$АнВ_{ПС}$, %	96[1,5]	87,5[3,6]	82,6[3,4]	75,2[3,1]	69,1[4,3]	62,4[4,7]
максЛа, ммоль/л	2,1[0,5]	3,9[1,2]	5,2[1,8]	5,9[2,5]	7,5[1,2]	8,8[1,4]
СΔЛа, ммоль/л/мин	15,0[3,4]	8,5[2,7]	6,7[2,3]	6,2[1,5]	5,7[1,4]	4,7[1,4]

Примечание: максЛа – максимальная концентрация лактата; СΔЛа – скорость накопления лактата

Для оценки индивидуального уровня интенсивности энергозатрат спортсмена в силовых упражнениях использовался показатель удельной интенсивности физиологических затрат, нормированный по пульсовому резерву (УИФЗчсс). Анализ полученных данных выявил тесные взаимосвязи между УИФЗчсс, показателем анаэробного вклада (АнВчсс), рассчитанным по пульсовым суммам, аналогичным показателем, рассчитанным по объёмам потреблённого кислорода (УИФЗчсс), а также со скоростью максимального накопления лактата.

В Таблицах 7,8 представлены результаты анализа, характеризующего взаимозависимости показателей УИФЗчсс с аналогичными показателями, рассчитанными по объемам потребленного $О_2$, а также СΔЛа и массой штанги в % от индивидуального ПМ в предельных упражнениях в режиме 100, 90, 80, 70, 60, 50% от 1ПМ. Результаты анализа показывают высокие экспоненциальные взаимосвязи одноименных показателей УИФЗ во всех упражнениях. Между показателями УИФЗ и СΔЛа, а также УИФЗ и массой штанги в % от 1ПМ во всех упражнениях – высокие экспоненциальные взаимосвязи (см. таблицы 7,8).

Таблица 7 – Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (ρ) между $УИФЗО_2$, УИФЗчсс и массой штанги, $УИФЗО_2$, УИФЗчсс и СΔЛа при выполнении силовых упражнений в режиме 100,90,80,70,60,50% от 1ПМ (n=72, при $p < 0.001$)

Показатели	$УИФЗ_{О2}$	СΔЛа
Жим лежа (n=72)		
$УИФЗ_{О2}$	1,00	0,87*
$УИФЗ_{чсс}$	0,92	0,89*
Приседание со штангой (n=72)		
$УИФЗ_{О2}$	1,00	0,88*
$УИФЗ_{чсс}$	0,95	0,86*
Становая тяга (n=72)		
$УИФЗ_{О2}$	1,00	0,83*
$УИФЗ_{чсс}$	0,93	0,84*

*Экспоненциальный характер зависимости

Таблица 8 – Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (ρ) между УИФЗ, АнВ и внешней нагрузкой в % от 1МП при выполнении силовых упражнений в режиме 100, 90, 80, 70, 60, 50% от 1ПМ (n=72, при p < 0.001)

Показатели	% от 1МП Жим лежа	% от 1МП Приседание	% от 1МП Становая тяга
$УИФЗ_{O2}$	0,83*	0,88*	0,82*
$УИФЗ_{чсс}$	0,91*	0,94*	0,85*
$АнВ_{O2}$	0,83	0,79	0,81
$АнВ_{чсс}$	0,84	0,82	0,80

*Экспоненциальный характер зависимости

В Таблице 9 представлены взаимосвязи относительного анаэробного вклада (АнВ), рассчитанного по потреблению O_2 и ЧСС, со СΔЛа при выполнении силовых упражнений в режиме 100, 90, 80, 70, 60, 50% от 1ПМ. Результаты анализа показывают высокие линейные взаимосвязи одноименных показателей АнВ во всех упражнениях. Между показателями относительного АнВ и СΔЛа во всех упражнениях – высокие экспоненциальные взаимосвязи.

Таблица 9 – Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (ρ) между $АнВ_{O2}$, $АнВ_{чсс}$ и СΔЛа при выполнении силовых упражнений в режиме 100,90,80,70,60,50% от 1ПМ, (n=72, при p < 0.001)

Показатели	$АнВ_{O2}$	СΔЛа
Жим лежа (n=72)		
$АнВ_{O2}$	1,00	0,88*
$АнВ_{чсс}$	0,77	0,86*
Приседание со штангой (n=72)		
$АнВ_{O2}$	1,00	0,80*
$АнВ_{чсс}$	0,97	0,81*
Становая тяга (n=72)		
$АнВ_{O2}$	1,00	0,80*
$АнВ_{чсс}$	0,96	0,80*

*Экспоненциальный характер зависимости

Как показано в таблице 9 $АнВ_{ПС}$ имеет тесные линейные взаимосвязи с аналогичным показателем, рассчитанным по потреблению O_2, и тесные экспоненциальные взаимосвязи со СнЛа во всех упражнениях. Очевидно, что с повышением нагрузки (% от 1 ПМ) лактат накапливается быстрее, т.к. с повышением веса штанги непропорционально снижается продолжительность упражнения и с этим - время для развертывания аэробных процессов.

На основании усреднённых данных, полученных в группе испытуемых (n=72), были установлены количественные зависимости УИФЗчсс и АнВчсс от внешней интенсивности нагрузки, выраженной в процентах от одного повторного максимума (1ПМ), что обеспечило возможность оценить характер и уровень взаимосвязей (Рис. 1).

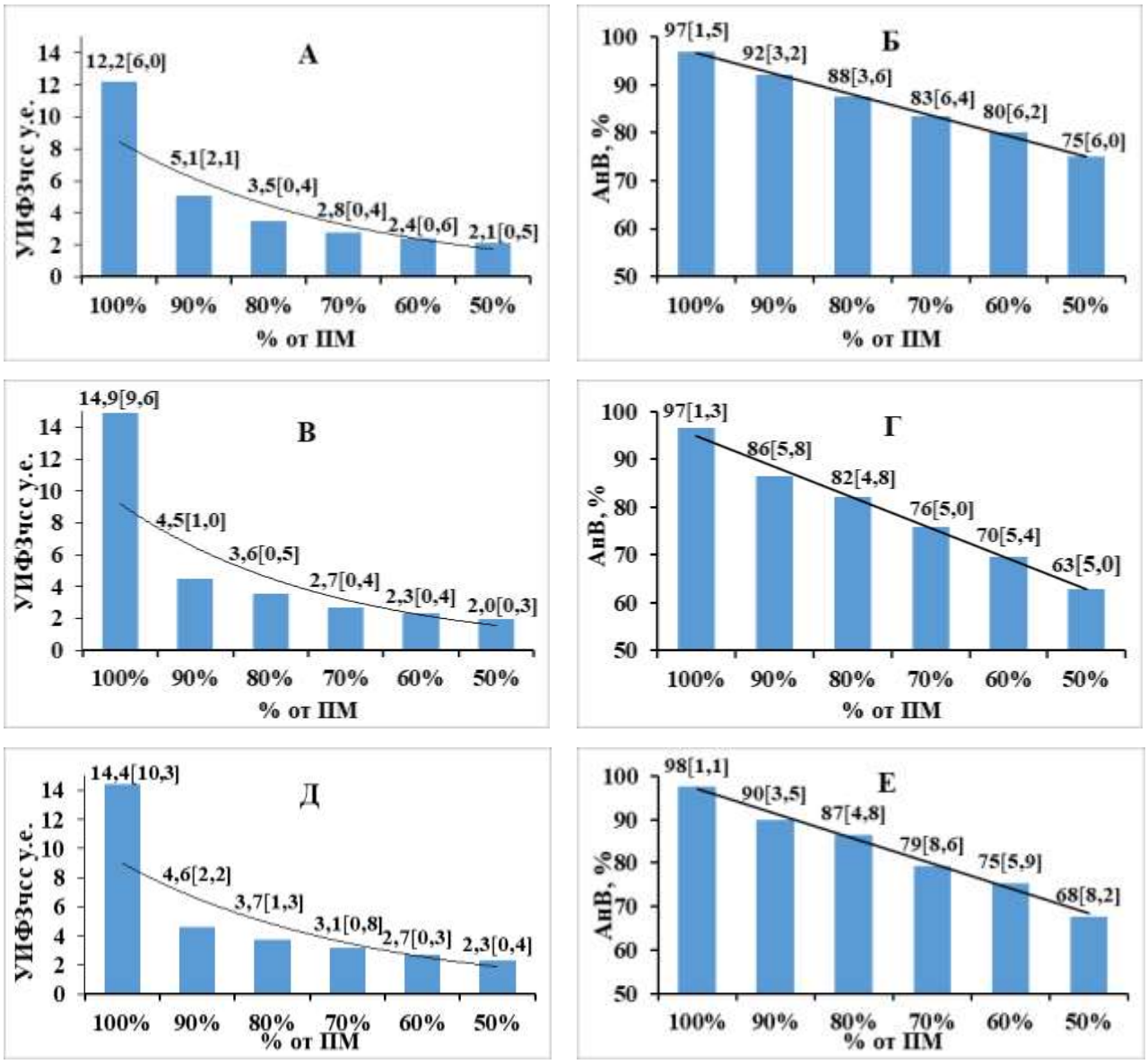


Рисунок 1 – Диаграмма величин УИФЗчсс(А,В,Д), $АнВ_{чсс}$ (Б,Г,Е), в упражнениях «жим лежа»(А.Б), «приседание»(В,Г) и «становая тяга»(Д,Е) со штангой до предела, соответствующие режиму 100,90,80,70,60,50 % от 1ПМ. Графики построены по усредненным данным, (n=72)

В таблицах 4-6 и рисунке 1 показано, что при выполнении силовых упражнений, с уменьшением веса штанги и увеличением при этом продолжительности упражнения (т.е. понижении его интенсивности), УИФЗ и 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 СΔЛа. Однако максЛа при этом повышается, т.к. отражает не относительный (в отличие от АнВ), а абсолютный анаэробный вклад, растущий с увеличением продолжительности упражнения. На основе полученных данных мы вычислили внешнюю механическую работу (А) и физиологические показатели, рассчитанных по VO_2 и ЧСС: нагрузочная экспозиция ($НЭ_{O2}$, $НЭ_{чсс}$) и её анаэробная часть ($НЭан_{O2}$, $НЭан_{чсс}$). Результаты представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Внешняя физическая работа и нагрузочная экспозиция (M ± σ), рассчитанные для силовых упражнений до предела в режиме 100,90,80,70,60,50 % от 1ПМ, (n=72)

Показатели	**Жим лежа** (n=72)					
	100%	90%	80%	70%	60%	50%
А, кГм	27[8]	94[55]	191[51]	289[71]	359[174]	431[140]
$НЭ_{чсс,}$ мин	0,8[0,3]	1,1[0,5]	1,5[0,3]	1,7[0,5]	1,8[0,4]	2,0[0,4]
$НЭ_{O2}$, мин	0,4[0,2]	0,5[0,2]	0,6[0,2]	0,7[0,3]	0,8[0,3]	0,9[0,2]
$НЭан_{чсс,}$ мин	0,8[0,3]	1,0[0,5]	1,2[0,3]	1,4[0,4]	1,4[0,3]	1,5[0,3]
$НЭан_{O2}$, мин	0,4[0,2]	0,5[0,2]	0,56[0,1]	0,6[0,2]	0,65[0,2]	0,7[0,2]
Становая тяга (n=72)						
А, кГм	69[24]	321[127]	530[329]	753[383]	891[381]	1076[557]
$НЭ_{чсс}$ мин	0,3[0,2]	0,9[0,5]	1,5[0,9]	1,8[0,4]	1,9[0,7]	2,7[0,4]
$НЭ_{O2}$, мин	0,5[0,2]	0,9[0,3]	1,4[0,5]	1,5[0,4]	1,8[0,6]	2,1[0,5]
$НЭан_{чсс,}$ мин	1,1[0,4]	1,6[0,4]	1,8[0,4]	1,9[0,4]	2,0[0,5]	2,2[0,4]
$НЭан_{O2}$, мин	0,4[0,2]	0,8[0,3]	1,1[0,4]	1,2[0,4]	1,3[0,3]	1,4[0,4]
Приседание (n=72)						
А, кГм	57[18]	335[224]	566[169]	912[199]	1115[314]	1392[444]
$НЭ_{чсс}$, мин	1,1[0,7]	1,9[0,6]	2,2[0,5]	2,8[0,4]	3,2[0,7]	4,1[0,4]
$НЭ_{O2}$, мин	0,5[0,3]	1,0[0,3]	1,3[0,4]	1,8[0,3]	2,0[0,5]	2,4[0,6]
$НЭан_{чсс}$, мин	1,1[0,7]	1,7[0,5]	1,8[0,4]	2,1[0,3]	2,3[0,6]	2,6[0,3]
$НЭан_{O2}$, мин	0,5[0,3]	0,9[0,2]	1,1[0,3]	1,3[0,3]	1,3[0,3]	1,4[0,2]

А – внешняя механическая работа, выполненная в упражнении;
$НЭО_2$ – нагрузочная экспозиция в упражнении, рассчитанная по О2;
НЭчсс – нагрузочная экспозиция в упражнении, рассчитанная по ЧСС;
$НЭанО_2$ – анаэробная часть нагрузочной экспозиции, рассчитанная по О2;
НЭанчсс – анаэробная часть нагрузочной экспозиции, рассчитанная по ЧСС;

На рисунке 2 изображены диаграммы, построенные для каждого упражнения предельной продолжительности, по усредненным групповым данным (*n=72*), которые демонстрируют соответствующие им величины, характеризующие физическую нагрузку - $НЭ_{O2}$, и $НЭ_{чсс}$ в режиме 100,90,80,70,60,50 % от 1ПМ.

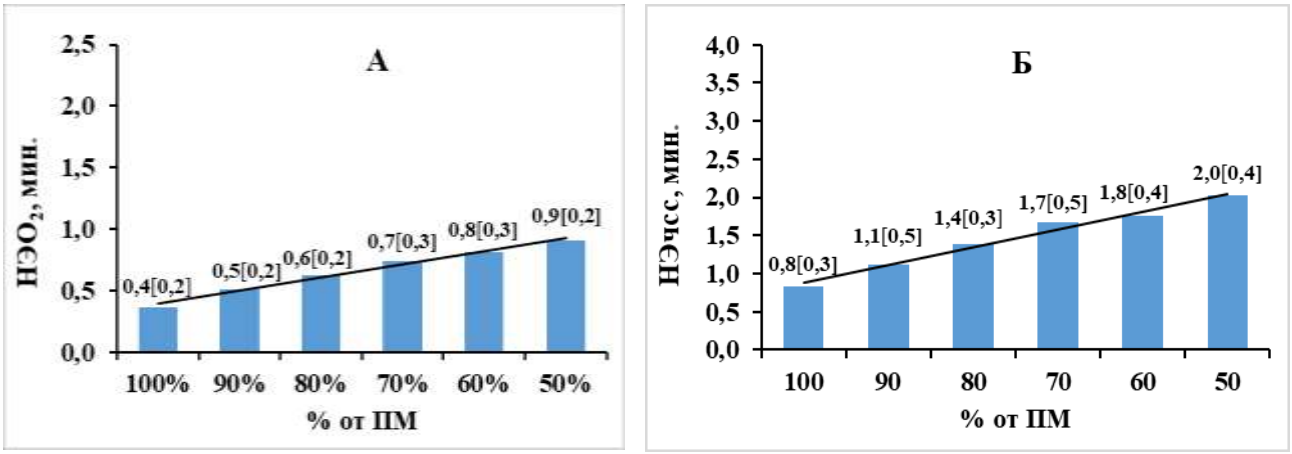


Рисунок 2 – Диаграмма величин $НЭ_{O2}$ (А,В,Д), $НЭ_{чсс}$ (Б,Г,Е), в упражнениях «жим лежа»(А.Б), «приседание»(В,Г) и «становая тяга»(Д,Е) со штангой до предела, соответствующие режиму 100,90,80,70,60,50 % от 1ПМ. Графики построены по усредненным данным, (n=72)

Продолжение рисунка 2

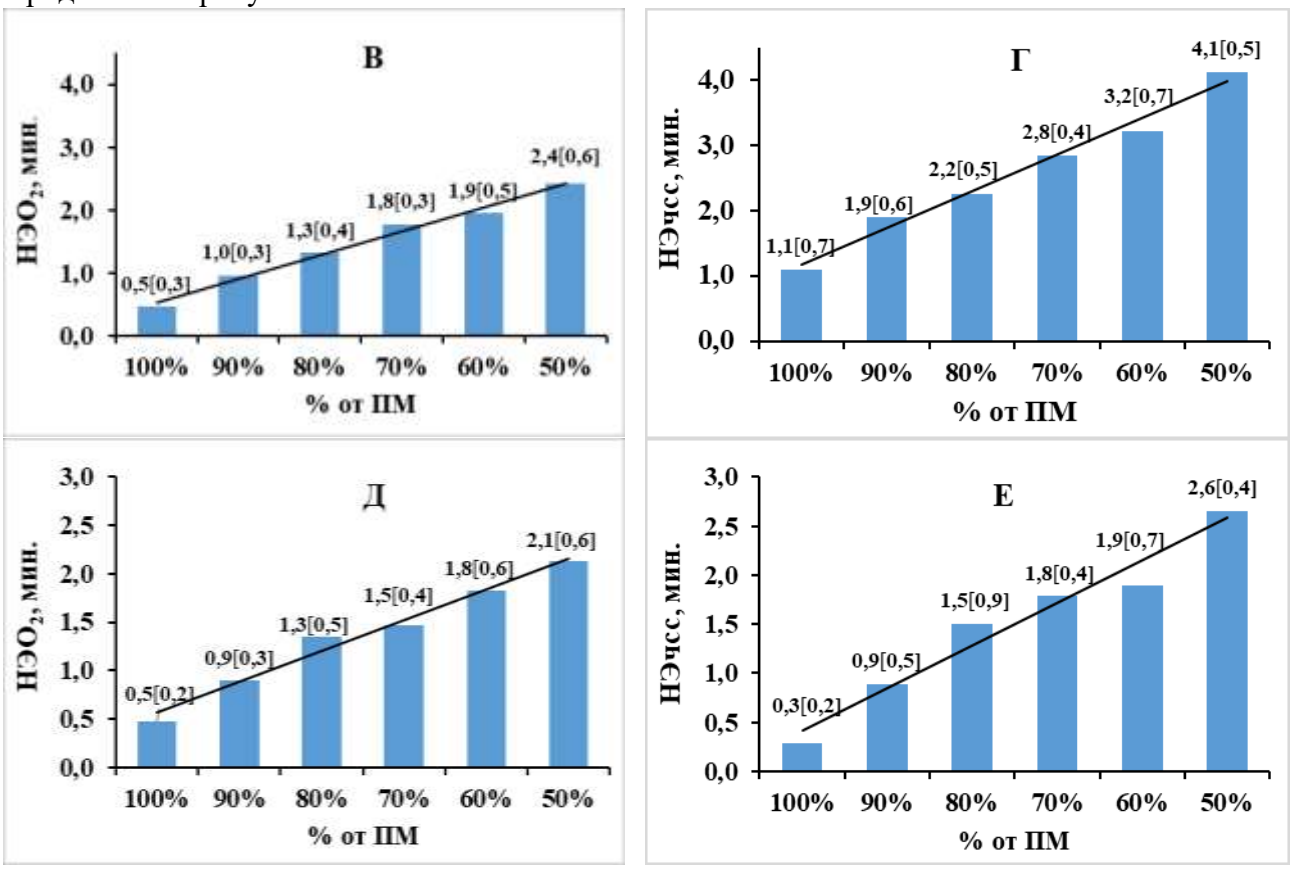


Рисунок 2 – Диаграмма величин $НЭ_{O2}$ (А,В,Д), $НЭ_{чсс}$ (Б,Г,Е), в упражнениях «жим лежа»(А.Б), «приседание»(В,Г) и «становая тяга»(Д,Е) со штангой до предела, соответствующие режиму 100,90,80,70,60,50 % от 1ПМ. Графики построены по усредненным данным, (n=72)

Как показывает рисунок 2, диаграммы величин показателей $НЭ_{O2}$, $НЭ_{чсс}$ по виду практически не отличаются. Это обусловлено одинаковым характером взаимосвязей с внешней нагрузкой, а также их высоким уровнем взаимосвязей между собой (табл.10). В нашем случае, нагрузочная экспозиция представляет собой произведение удельной интенсивности физиологических затрат на время выполнения упражнения и отражает количество выполненной работы, в которой учитывается физиологическое напряжение организма (см. Таблицу 11).

Таблица 11 – Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (ρ)* и Пирсона (r)** между величинами НЭ и величинами А, (n=72, при $p < 0.001$)

Показатели	$НЭ_{O2}$	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 11, все показатели, характеризующие физическую нагрузку, весьма тесно взаимосвязаны. Показатели $НЭ_{O2}$

и *НЭ$_{чсс}$* тесно линейно взаимосвязаны. Это объясняется тем, что *УИФЗ$_{чсс}$* и *УИФЗ$_{О2}$* являются множителями при расчетах показателей нагрузочной экспозиции, а также тесно взаимосвязаны между собой и с весом штанги в % от 1ПМ в упражнении (см. табл. 7,8).

На рисунке 3 изображены диаграммы, построенные для каждого упражнения предельной продолжительностью в режиме 100,90,80,70,60,50% от 1ПМ по усредненным данным (*n=72*), которые демонстрируют соответствующие им величины максЛа (А,В,Д) и анаэробную часть нагрузочной экспозиции - НЭан$_{чсс}$ (Б,Г,Е).

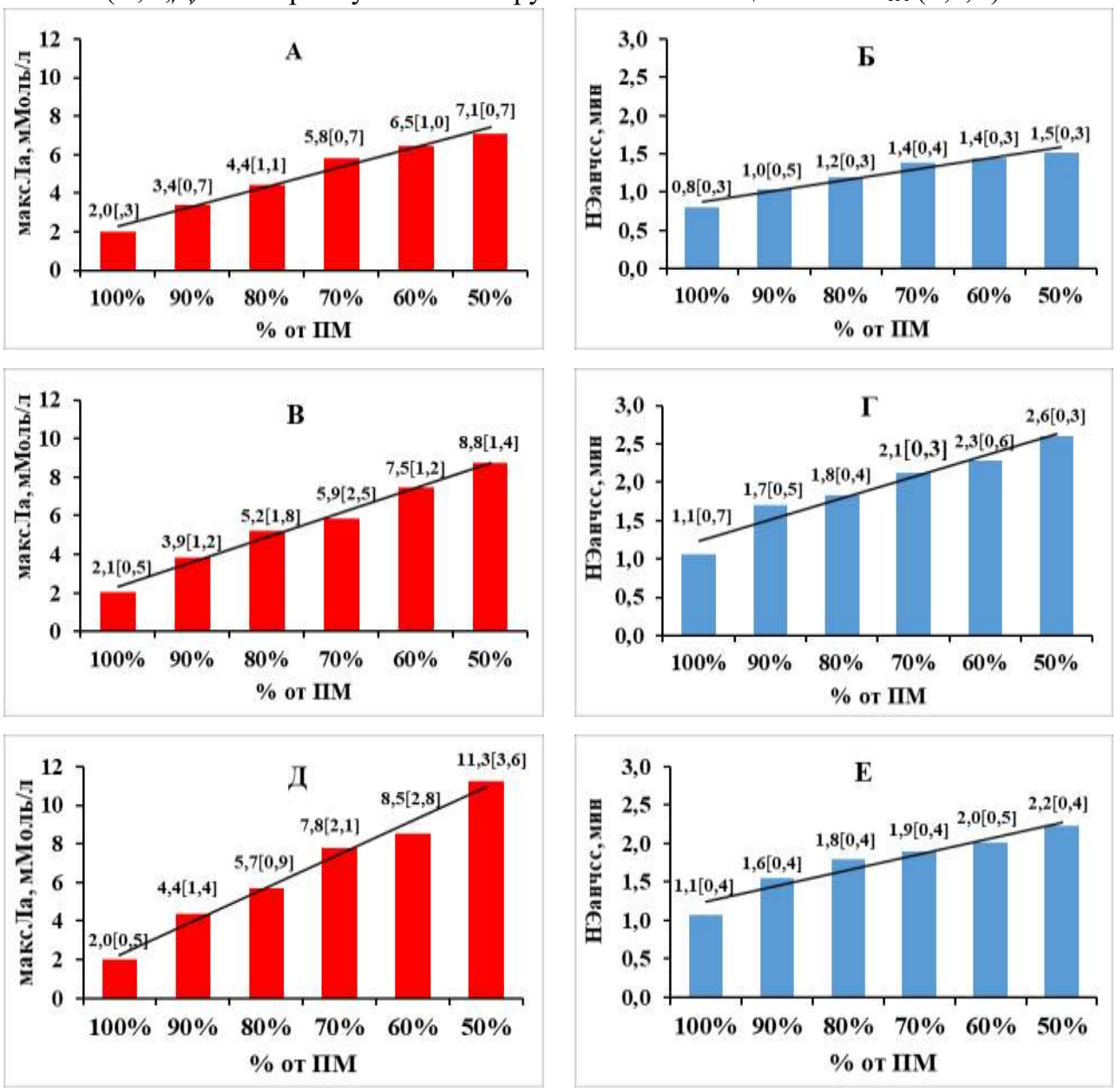


Рисунок 3 – Диаграмма величин максЛа (А,В,Д) и НЭан$_{чсс}$ (Б,Г,Е), в упражнениях «жим лежа»(А.Б), «приседание»(В,Г) и «становая тяга»(Д,Е) со штангой до предела, соответствующие режиму 100,90,80,70,60,50 % от 1ПМ. Графики построены по усредненным данным, (n=72)

Как показано на рисунке 3, диаграмма величин НЭан$_{чсс}$ (А,В,Д), соответствующая режиму работы в % от 1ПМ, имеет схожую с величинами максЛа (Б,Г,Е) линейную динамику роста показателей с уменьшением веса штанги.

В таблице 12 представлены взаимосвязи между *максЛа* и представленными одноименными показателями *НЭан*, рассчитанными по объемам потребленного O_2 и по пульсовым суммам, при выполнении силовых упражнений в режиме 100, 90, 80, 70, 60, 50% от 1ПМ.

Таблица 12 – Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (ρ)* и Пирсона (r)** между величинами анаэробной части нагрузочной экспозиции ($НЭан_{O2}$ и $НЭан_{чсс}$) и величинами максЛа, (n=72, при p < 0,001)

Показатели	$НЭан_{O2}$	максЛа
Жим лежа (n=72)		
$НЭан_{O2}$	1,00	0,68*
$НЭан_{чсс}$	0,76*	0,67*
Приседание (n=72)		
$НЭан_{O2}$	1,00	0,93*
$НЭан_{чсс}$	0,91*	0,86*
Становая тяга (n=72)		
$НЭан_{O2}$	1,00	0,82*
$НЭан_{чсс}$	0,84**	0,82*

Как показано в таблице 11, показатели $НЭан_{O2}$ и $НЭан_{чсс}$ умеренно взаимосвязаны друг с другом. В упражнении «жим лежа» установлена статистически значимая положительная корреляционная связь умеренной силы НЭан с максЛа, в остальных - высокая. Очевидно, $НЭан_{O2}$ и $НЭан_{чсс}$ сильно линейно взаимосвязаны с максЛа из-за того, что составляющие УИФЗ и АнВ, из которых рассчитывается НЭан, весьма тесно взаимосвязаны со скоростью накопления лактата (СΔЛа) (см. таблицы 7,9). Показатели $НЭан_{O2}$ и $НЭан_{чсс}$ в таблице 11 в упражнениях «приседание со штангой» и «становая тяга» демонстрируют тесные линейные взаимосвязи друг с другом и с максЛа. При этом, взаимосвязи $НЭан_{O2}$ и $НЭан_{чсс}$ с максЛа в упражнении «жим лежа» - ниже. Вероятно, такая разница обусловлена биомеханикой упражнения и положением тела во время выполнения упражнения. Представленные в таблице 3-5 показатели УИФЗ, НЭ и НЭан, рассчитанные по ЧСС выше аналогичных, рассчитанных по O_2. Несмотря на систематическое абсолютное расхождение, между одноимёнными показателями, рассчитанными по O_2 и по ЧСС, выявлены тесные линейные взаимосвязи (см.таблицы 6,10,11), что подтверждает высокую согласованность пульсометрических индикаторов с газометрическими при сохранении разницы в величинах показателей. Вероятная причина систематического превышения показателей, рассчитанных по ЧСС, над аналогичным показателем, полученным на основе VO_2, заключается в фундаментальном различии в физиологических детерминантах этих двух маркеров при выполнении интенсивной силовой нагрузки. В отличие от O_2, который отражает только энергетические затраты, ЧСС отражает комплексный характер хронотропного ответа на нагрузку.

Сравнительный анализ реакций организма двух спортсменов при выполнении силовых тренировок

В ходе экспериментального исследования был проведен сравнительный анализ реакций организма двух спортсменов при выполнении силовых тренировок в режиме до отказа при интенсивности 96%, 75% и 67% от индивидуального максимума (1ПМ) (см.

таблицу 13). Спортсмен №1 выполнял упражнение «становая тяга», спортсмена №2 – «становая тяга» и «жим лежа». Оценка внутренней нагрузки осуществлялась посредством расчета и анализа эргометрических, биохимических и физиологических показателей.

Таблица 13 – Сравнение величин характеристик работоспособности спортсменов при выполнении силовых тренировок с разной предельной продолжительностью в 5 подходах до отказа в режиме 96,75,67 % от 1ПМ в упражнениях жим лежа и становая тяга

Показатели	Спортсмен № 1			Спортсмен № 2					
	96 % от 1 МП	75 % от 1 МП	67 % от 1 МП	96 % от 1 МП	75 % от 1 МП	67 % от 1 МП	96 % от 1 МП	75 % от 1 МП	67 % от 1 МП
	Становая тяга			Становая тяга			Жим лежа		
УИФЗ, уд. ед.	5,1	3,22	2,86	19,5	6,15	5,25	17,3	6,50	4,70
Нэчсс, мин	5,9	10,15	14,56	14,30	17,12	19,78	11,84	12,38	13,51
НЭанчсс, мин	5,5	8,5	11,68	13,85	15,15	16,88	11,47	11,22	11,72
АнВ, %	93	84	80	97	88	85	97	91	87
Ламакс, мМоль/л	5,57	7,5	10,7	7,92	13,68	16,64	4,74	7,97	9,59
ΔЛамакс, мМоль/л	4,67	5,1	7,4	5,35	11,18	14,63	1,82	4,94	7,26
СΔЛа, мМоль/л/мин	4,06	1,11	1,02	7,30	3,55	2,88	2,66	2,60	2,53
ДНчсс, кДж/кг	1,6	3,47	9,22	5,42	5,92	6,62	0,52	2,03	1,85
ДНанчсс, кДж/кг	1,49	2,9	7,4	5,25	5,24	5,65	0,50	1,84	1,60
А, кГм	1513	4301	6251	1566	4057	4262	508	1486	1578
А/ΔЛамакс,	324	843	845	293	363	291	279	301	217
Peak Power, Вт	579	836	1521	1153	1007	960	95	345	301
Peak Power, Вт/кг	8,24	10,2	18,78	12,33	10,77	10,27	1,02	3,69	3,22
Mean Power, Вт	370	466	856	591	539	522	68	255	213
Mean Power, Вт/кг	4,51	5,69	10,56	6,32	5,76	5,58	0,73	2,73	2,28

Примечание: данные для Спортсмена №2 представлены раздельно для упражнений "становая тяга" и "жим лежа"».

Сравнительный анализ тренировочной деятельности показывает, что спортсмен № 1 выше по уровню работоспособности, чем спортсмен № 2 по большинству оцениваемых показателей. Предложенные пульсометрические показатели: $УИФЗ_{ЧСС}$, $НЭ_{ЧСС}$, $НЭан_{ЧСС}$, $АнВ_{ЧСС}$, рассчитанные на основе индивидуальных функциональных показателей, позволяют достаточно информативно оценить силовую нагрузку и сравнивать разных спортсменов по показателям работоспособности. Анализ двух биомеханически разных упражнений спортсмена №2 показал: при равной относительной нагрузке (% от 1ПМ) становая тяга вызывает более выраженный метаболический ответ, чем жим лежа. Это говорит о том, что биомеханика упражнения влияет на уровень физиологического стресса.

Количественная оценка зон интенсивности в силовой подготовке с использованием пульсометрических показателей и их физиологическое обоснование

В современной спортивной физиологии и эргометрии фундаментальной моделью, определяющей подходы к планированию силовой подготовки, является концепция

«повторного максимума», согласно которой адаптационные ответы скелетной мускулатуры демонстрируют высокую специфичность к величине тренировочной нагрузки, выраженной в процентах от однократного максимума (1ПМ) (Schoenfeld B. J. и др., 2021; Currier B. S. и др., 2026).

На основании литературного обзора (Schoenfeld B. J. и др., 2017; Currier B. S. и др.. 2026; Lasevicius T. и др., 2018; Schoenfeld B. J. и др., 2021) и полученных результатов исследования (таблицы 4-6) на рисунках 4-6 представлены диаграммы, позволяющие оценить количественные характеристики различных тренировочных зон по величине УИФЗчсс и их взаимосвязь с факторами мышечного роста. Такой подход к оценке нагрузки позволяет подобрать индивидуальный тренировочный режим с учетом ее интенсивности и адаптационных сдвигов.

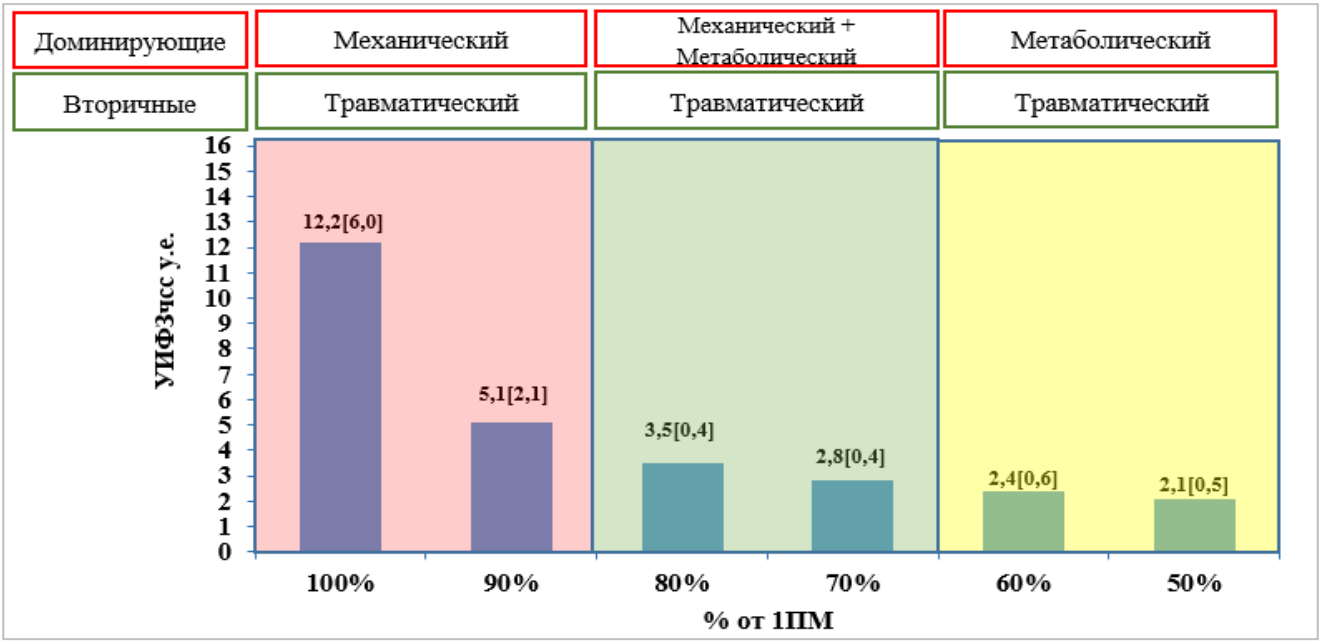


Рисунок 4 - Зависимость УИФЗчсс от интенсивности нагрузки и их взаимосвязь с факторами роста в упражнении «жим лежа»

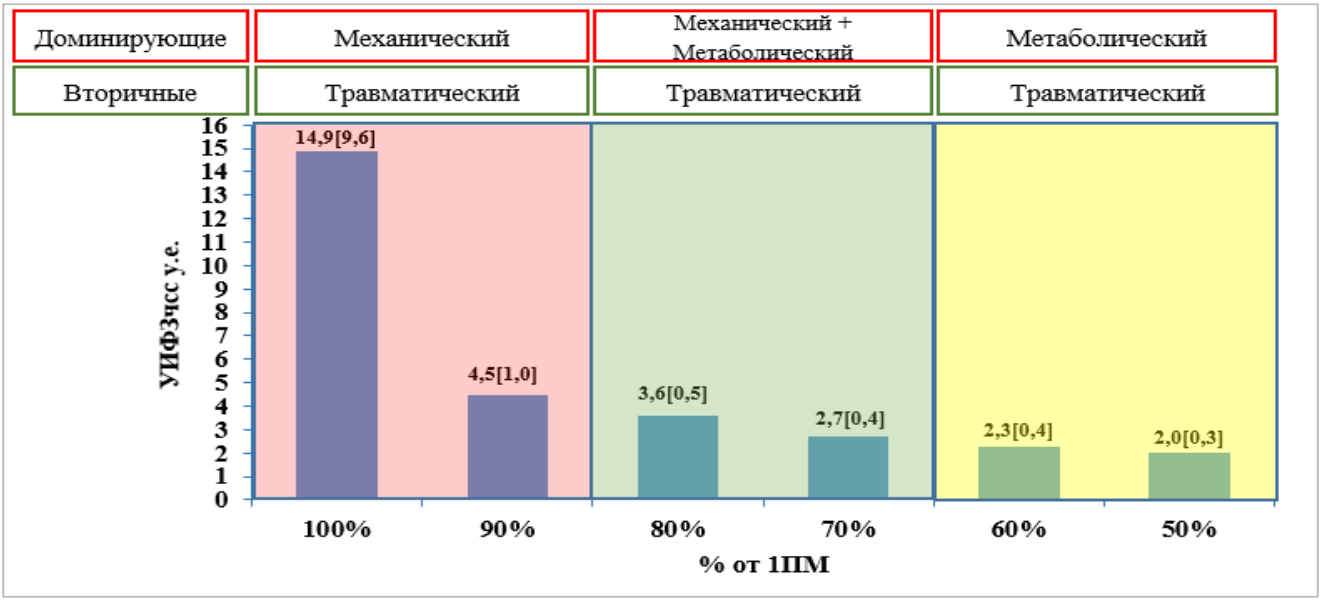


Рисунок 5 - Зависимость УИФЗчсс от интенсивности нагрузки и их взаимосвязь с факторами роста в упражнении «приседание»

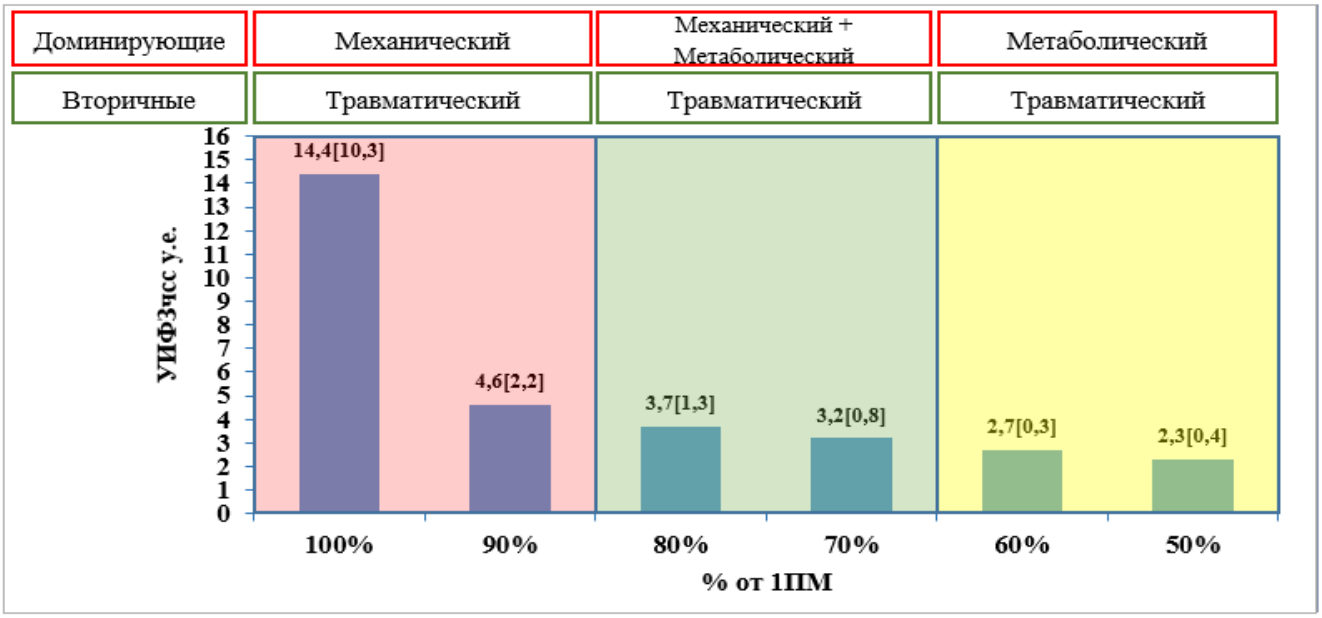


Рисунок 6 - Зависимость УИФЗчсс от интенсивности нагрузки и их взаимосвязь с факторами роста в упражнении «становая тяга»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенные пульсометрические показатели могут быть использованы для количественной оценки интенсивности физиологических затрат и структуры энергообеспечения упражнений, а также для оценки степени тяжести перенесенной физической нагрузки при выполнении исследуемых силовых упражнений. Расчет этих показателей основан на эргометрии и неинвазивных измерениях ЧСС, что позволяет использовать их непосредственно в тренировочном процессе.

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие **выводы**:

1. Пульсометрические показатели, используемые для оценки интенсивности физиологических затрат и структуры энергообеспечения силовых упражнений, а также критерии, рассчитанные с помощью этих методов, являются информативными при выполнении упражнений в режиме 100,90,80,70,60,50 % от 1ПМ. Выявлены тесные взаимосвязи *УИФЗ$_{ЧСС}$* и *АнВ$_{ЧСС}$* с аналогичными показателями, рассчитанными по потреблению кислорода, в упражнениях «жим лежа» (ρ = 0,92 и 0,89), «приседание» (ρ = 0,95 и 0,97) и «становая тяга» (ρ = 0,93 и 0,96). Между показателями относительного *АнВ* и *СДЛа* во всех упражнениях – высокие экспоненциальные взаимосвязи: «жим лежа» (ρ = 0,88), «приседание» (ρ = 0,81) и «становая тяга» (ρ = 0,80). Между показателями *УИФЗ$_{ЧСС}$* и *СДЛа*, а также *УИФЗ$_{ЧСС}$* и интенсивностью нагрузки в % от 1ПМ во всех упражнениях – высокие экспоненциальные взаимосвязи.

2. Показатели *НЭО$_2$* и *НЭчсс* тесно линейно взаимосвязаны между собой во всех упражнениях (r = 0,85–0,95). *НЭчсс* прямо и сильно связана как с количеством механической работы, так и с величиной накопленного лактата (ρ = 0,81–0,95). Прямая линейная зависимость между представленными показателями означает, что с увеличением суммарной механической работы пропорционально растёт и концентрация

лактата и *НЭчсс*. Предложенный пульсометрический показатель – *НЭчсс* можно использовать для косвенной оценки выполненной физической работы в том случае, если нет возможности регистрировать потребление O_2 и измерить внешнюю нагрузку. Анаэробная часть нагрузочной экспозиции $НЭан_{чсс}$ имеет умеренные и высокие линейные взаимосвязи с абсолютными величинами максимальной концентрации лактата максЛа в крови в упражнениях: «жим лежа» (ρ = 0,86), «приседание» (ρ = 0,86) и «становая тяга» (ρ = 0,82). Пульсометрический показатели $НЭан_{чсс}$ отражает вклад анаэробных процессов в энергообеспечении выполненной физической нагрузки и имеют тесные линейные взаимосвязи с *АнВчсс*: в упражнении «жим лежа» (ρ = 0,80), «приседание» (ρ = 0,81) и «становая тяга» (ρ = 0,87).

3. Установлено, что механическое напряжение и метаболический стресс не являются взаимоисключающими факторами, а представляют собой совокупность стимулов, соотношение которых непрерывно изменяется в зависимости от интенсивности нагрузки. Предложенные пульсометрические показатели достоверно отражают не только энергетическую стоимость выполнения внешней механической работы, но и физиологическую стоимость поддержания гомеостаза, что позволяет неинвазивно оценивать интенсивность, дозировать тренировочную нагрузку и целенаправленно управлять ожидаемой направленностью адаптации. На основании выявленных закономерностей выделены и обоснованы тренировочные зоны. Зоны 100–80 % от 1ПМ характеризуются доминированием механического напряжения при максимальных значениях *УИФЗчсс* и *АнВчсс* и минимальных *НЭчсс* и *НЭанчсс*, что обусловливает преимущественно миофибриллярную гипертрофию и нейромышечные адаптации. Зона 80–70 % от 1ПМ характеризуется балансом механического напряжения и метаболического стресса (устойчивый рост *НЭчсс* и *НЭанчсс* на фоне снижения *АнВчсс* и *УИФЗчсс*), формирующим условия для смешанной (миофибриллярной и саркоплазматической) гипертрофии. Зоны 70–50 % от 1ПМ характеризуются выраженным метаболическим стрессом (максимальные значения *НЭчсс* и *НЭанчсс* при дальнейшем снижении *АнВчсс* и *УИФЗчсс*), что обусловливает преимущественно саркоплазматическую гипертрофию и развитие силовой выносливости.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных Минобрнауки РФ:

1. Аньшаков, Н. И. Взаимосвязь пульсометрического показателя анаэробного вклада при выполнении силовых упражнений с биохимическими маркерами анаэробного метаболизма / Н. И. Аньшаков, Р. В. Тамбовцева, А. В. Козлов, В.Д. Сонькин // Человек. Спорт. Медицина. – 2026. – № S1. – С. 24-26. (К1)

2. Аньшаков, Н. И. Пульсометрическая оценка перенесенного физиологического напряжения и объема выполненной механической работы при выполнении предельных силовых упражнений в разных режимах работы / Н. И. Аньшаков, Р. В. Тамбовцева // Вестник ДонНУ. Сер. А: Естественные науки. – 2026. – № 2. – С.57-65. (К2)

3. 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. – № 2. – С.12-19. (К2)

4. Аньшаков, Н. И. Оценка индивидуальных физиологических параметров силовых упражнений с тяжелоатлетической штангой / Н. И. Аньшаков, Р. В. Тамбовцева // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2026. – № 3. – С. 30-37. (К2)

5. Аньшаков, Н. И. Пульсометрические маркеры объема выполненной механической работы и концентрации лактата крови в циклических упражнениях различной мощности / А. В. Козлов, Н. И. Аньшаков, В.Д. Сонькин, А.С. Сергеев, Г.А.Хайретдинова // Физиология человека. – 2026. – Т. 52. № 1. – С. 136-152. (К1)

6. Аньшаков, Н. И. Влияние бегового теста с отягощением на физиологические параметры бегунов-спринтеров / Р. В. Тамбовцева, Н. И. Аньшаков // Теория и практика физической культуры. – 2024. – № 3. – С. 53–55. (К1)

Статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в РИНЦ, материалах конференций:

7. Аньшаков Н. И., Тамбовцева Р. В., Хайретдинова Г. А., Козлов А. В. Исследование взаимосвязи пульсометрических индикаторов и концентрации лактата в крови в зависимости от режима выполнения силового упражнения // Спорт – дорога к миру между народами : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. Москва, 2025. С. 14

8. Аньшаков Н. И., Тамбовцева Р. В., Козлов А. В., Сонькин В. Д. Неинвазивные методы определения тренировочных параметров нагрузки при выполнении силовых упражнений в различных режимах работы // Motor control 2025: сб. тез. X Рос. конф. по управлению движением с междунар. участием. Казань, 2025. – С. 87.

9. Аньшаков Н. И., Тамбовцева Р. В. Сопоставление внешней нагрузки с физиологическими затратами при выполнении силовых упражнений в различных режимах работы // Молодые – науке : сб. ст. по итогам IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием студентов и молодых ученых. Москва, 2025. – С. 231–236.

10. Аньшаков Н. И., Тамбовцева Р. В., Козлов А. В., Сонькин В. Д. Оценка механической работы при выполнении силовых упражнений по ЧСС и потреблению кислорода // Актуальные медико-биологические проблемы спорта и физической культуры: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2026. – С. 84–89.