

**КОЗЛОВ АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ  
ДЛЯ СПОРТСМЕНОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДОВ СПОРТА**

1.5.5. – Физиология человека и животных

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Москва - 2025

Работа выполнена на кафедре Физиологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК» (РУС «ГЦОЛИФК») Министерства спорта Российской Федерации.

Научный руководитель: Доктор биологических наук, профессор, Сонькин Валентин Дмитриевич

Официальные оппоненты: Капилевич Леонид Владимирович, доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», заведующий кафедрой спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины

Глазачев Олег Станиславович, доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), профессор кафедры нормальной физиологии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского

Ведущая организация: Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение "Федеральный научный центр физической культуры и спорта" (ФГБУ ФНЦ ВНИИФК) Министерства спорта Российской Федерации, г. Москва

Защита диссертации состоится « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 года в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета 24.1.023.01 в ГНЦ РФ – ИМБП РАН по адресу: 123007, г.Москва, Хорошевское шоссе, д.76А

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНЦ РФ – ИМБП РАН и на сайте <http://www.imbp.ru/WebPages/win1251/ScienceN/DisserSov/Disser.html>

Автореферат разослан

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

кандидат биологических наук

Светлана Викторовна Поддубко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность исследования

Нагрузки различной мощности вызывают разные по интенсивности и структуре физиологические затраты, что было постулировано В.С. Фарфелем в его концепции «зон относительной мощности» еще в 1939 г и подтверждено результатами многочисленных исследований (Фарфель В.С., 1939; Margaria R., 1976; Viru A., 1995, 1996; Волков Н.И. и др., 2002, 2011; Сонькин В.Д., Тамбовцева Р. В., 2011; Swanwick E., et al, 2018). В каждой из этих зон относительной мощности (или в соответствующем временном диапазоне предельной работы) превалирует определенный механизм энергообеспечения. Зона умеренной мощности является зоной аэробного энергообеспечения. Ее верхняя граница приблизительно соответствует анаэробному порогу (АнП). Зона большой мощности — это зона смешанного энергообеспечения с превалированием аэробного механизма. Ее верхняя граница приблизительно соответствует МПК. В зоне субмаксимальной мощности нагрузка может повышаться исключительно за счет активации анаэробного гликолиза. Ее верхняя граница приблизительно соответствует максимальной мощности гликолитического механизма энергообеспечения. В зоне максимальной мощности преобладает фосфагенное энергообеспечение. Ее верхняя граница является вершиной всего доступного человеку диапазона нагрузок и соответствует так называемой максимальной анаэробной мощности (МAM) (Margaria R., 1976; Spencer, et al., 2001; Gastin, P.B., 2001; Волков Н. И. и др., 2002, 2011; Swanwick E., et al., 2018; Kuijpers, et al, 2020).

Основные режимы тренировочной работы в циклических видах спорта ориентированы либо на максимальную анаэробную мощность (Fox E.L., 1973; Gollnick P., et al., 1973; Olek R.A., et al., 2018; Silva MLD, et al., 2019; Satiroglu R., et al., 2021), либо на мощность истощения (Simonson E., et al., 1942, 1971; Gollnick P., et al., 1973; Costill D.L., 1986; Волков Н.И. др., 2000, 2011; Cicchella A., 2022), либо на критическую мощность (соответствующую МПК) (Lortie G., et al., 1984; Ekblom B., et al., 1986; Weerapong Chidnok, et al., 2020; James Breese, 2020), либо на анаэробный порог (Ghosh A.K., 2004; Friedmann B., et al., 2004, Skorski S., et al., 2004, Mo S., et al., 2018, Römer C., et al., 2018).

Для проявления у спортсмена специфических эффектов адаптации, эффективная мощность тренировочных упражнений может подбираться на основе интенсивности и структуры физиологических затрат, соответствующих зоне мощности, в которой проходит соревновательная нагрузка (Волков Н.И., и др., 2011; Swanwick E., et a.l, 2018; Kenney, W. L., et al., 2019; William McArdle, et al., 2022).

Методы определения физиологической интенсивности нагрузки по скорости потребления кислорода и ЧСС человека информативны в первых двух зонах нагрузки — умеренной и большой мощности, т. к. в этих зонах соответствующие характеристики изменяются пропорционально мощности работы. Но это всего лишь около 30% от всего диапазона нагрузок. Верхние границы зон умеренной и большой мощности имеют четкие эргометрические и физиологические ориентиры — АнП и МПК. Верхние границы зон субмаксимальной и максимальной мощности не имеют однозначных физиологических индикаторов — только эргометрические.

Между тем, в этих зонах спортсмены выполняют значительный объем тренировочной и соревновательной работы. При этом, скорость или мощность упражнения не всегда соответствует физиологическим затратам в конкретных условиях работы, поэтому лучше ориентироваться на физиологические показатели упражнения.

Интенсивность и структуру физиологических затрат упражнения (в том числе анаэробный вклад в энергообеспечение работы) в субмаксимальной и максимальной зонах мощности возможно определять, измеряя концентрацию лактата в крови и потребление кислорода во время работы и восстановления (Волков Н.И., и др., 2002, 2005, 2011; Алексеев В. М., Акимов Е. Б., 2008; Bertuzzi R., et al., 2016; Matsuura H., et al., 2019; Beam W.C., et al., 2019).

АнП, который является базовым ориентиром для формирования режима подготовки спортсменов во многих циклических видах спорта (Мак-Дугалл Д.Д., 1998; Joyner M.J., et al., 2008; Tanner K. et al., 2013; Lundby C., et al., 2015; J. G. Pallar'es, 2016; David L. et al., 2021), определяется обычно по динамике газообмена, легочной вентиляции и концентрации лактата в крови. Для тренировочной практики это слишком сложно, т.к. газоаналитические и инвазивные

методы определения физиологических параметров физической нагрузки требуют дорогостоящего оборудования, специального программного обеспечения и специалистов–физиологов высокой квалификации. Это существенно сужает доступность этих методов контроля состояния спортсмена в тренировочном процессе. Разработка и использование в спортивной практике информативных пульсометрических и других неинвазивных методов определения физиологических параметров физической нагрузки во всем доступном человеку диапазоне нагрузок может существенно усовершенствовать контроль за ходом тренировочного процесса.

#### **Степень разработанности проблемы:**

Наиболее универсальным методом оценки интенсивности энергозатрат является расчет единиц максимальной метаболической скорости (maximum metabolic rate, MMR) - показателя, выраженного отношением уровня кислородного запроса конкретного упражнения к максимальному потреблению кислорода (Волков Н.И. и др., 2002). Структуру энергозатрат (анаэробный вклад в общем энергообеспечении), также как и показатель MMR, рассчитывают по параметрам кислородного запроса. Эти показатели позволяют оценивать физиологическую направленность упражнения и работоспособность спортсмена во всем диапазоне физических нагрузок вплоть до максимальной анаэробной мощности. Но эти методы контроля не могут широко использоваться в тренировочной практике из-за сложности их применения.

В тренировочной практике для оценки интенсивности физиологических затрат упражнения и регламентации нагрузки, обычно используются абсолютные значения частоты сердечных сокращений (ЧСС), а также разнообразные расчетные методы, основанные на относительных значениях ЧСС. Например, метод расчета относительного рабочего прироста ЧСС (Karvonen M.J., et al., 1957; Davis A., et al., 1975; Matsuura H., et al., 2019) позволяет оценить интенсивность физиологических затрат организма в аэробном диапазоне нагрузок, а метод расчета ИНПД (Король В.М. и др., 1985) позволяет оценить интенсивность физиологических затрат организма в условиях активного анаэробного энергообеспечения. Однако, во всех этих случаях предлагаются инструменты, решающие частные проблемы оценки физиологических затрат в том или ином диапазоне мощности.

Одним из информативных методов оценки интенсивности упражнения во всем диапазоне нагрузок является расчет скорости образования пульсового запроса (Волков Н.И., et al., 2005). Метод не требует газоанализа, но сложен в расчетах и не позволяет оценивать, на каком уровне относительно максимальных возможностей спортсменов выполнял работу, или сравнивать работоспособность у разных спортсменов.

Для расчета момента достижения важнейшей характеристики работоспособности спортсмена-циклика – анаэробного порога (АнП) – используют динамические данные легочной вентиляции и газообмена, а также концентрации лактата в капиллярной крови (Anderson G.S., et al., 1989). С той или иной степенью точности АнП может определяться по другим физиологическим характеристикам – по электромиографическим показателям (Alejandro L., et al., 1999; Latasa I, et al., 2019; Попов Д. В. и др., 2019), по показателям пульсоксиметрии (Попов Д.В. и др., 2019; Abe, M., et al., 2022), по вариабельности сердечного ритма (Селуянов В.Н. и др., 2011; Saunoriene L, et al., 2019), по динамике ЧСС (Hnizdil Jan, et al., 2019), кожной температуре (Сонькин В.Д., 2011) и др., или с помощью анализа эргометрических измерений в предельных упражнениях (Andrew M. Jones, 2018; Lipková L, et al., 2022). Все эти методы характеризуют АнП как физиологический феномен, но по разным причинам не пригодны для широкого применения в тренировочной практике. Информативность этих методов обычно уступает классическим вентиляционно-газометрическим измерениям.

Поиск неинвазивных, удобных для применения в тренировочной практике, и в то же время информативных методов определения интенсивности и структуры энергозатрат, а также методов определения АнП, ведется до сих пор. Этому посвящена и настоящая работа.

**Гипотеза:** Для определения физиологических параметров физической нагрузки, в том числе и АнП, у спортсменов циклических видов спорта можно успешно использовать неинвазивные методы, базирующиеся на бесконтактной инфракрасной термографии, пульсометрии и эргометрии, которые могут быть столь же информативными, как и газометрические и инвазивные методы.

**Цель исследования:** Разработка методик, основанных на использовании неинвазивных методов для определения физиологических параметров физической нагрузки при циклической работе в диапазоне от аэробного порога до максимальной анаэробной мощности.

**В задачи работы входит:**

- 1) Разработать пульсометрические методы определения интенсивности физиологических затрат, структуры энергообеспечения и дозы воздействия физической нагрузки для циклических упражнений в диапазоне от аэробного порога до максимальной анаэробной мощности, и оценить их информативность по сравнению с аналогичными газометрическими и инвазивными методами;
- 2) Оценить возможность использования инфракрасной термографии для определения АНП;
- 3) Разработать метод определения АНП по динамике ЧСС во время работы и восстановления в тесте с повышением нагрузки до отказа и оценить информативность этого метода в зависимости от протокола нагрузки и вида нагрузочного устройства;

**Научная новизна:**

В исследовании представлены базирующиеся на данных пульсометрии новые методы и показатели для оценки интенсивности энергозатрат и структуры энергообеспечения упражнений в диапазоне циклических нагрузок от аэробного порога до максимальной анаэробной мощности у спортсменов, и показана их высокая информативность.

Впервые предложена научно обоснованная оценка возможности использования инфракрасной термографии в процессе циклической работы повышающейся мощности для определения АНП.

Представлен новый графический метод определения АНП в тесте с равномерным повышением циклической нагрузки до отказа, основанный на измерении ЧСС во время работы и восстановления, доказавший свою информативность при использовании различных нагрузочных устройств в условиях непрерывности тестовой нагрузки;

**Теоретическая значимость исследования:**

Показано, что у спортсменов циклических видов спорта относительные пульсометрические показатели, характеризующие интенсивность энергозатрат и структуру энергообеспечения при выполнении упражнения, а также аналогичные им показатели, которые определяются с помощью измерения потребления кислорода и концентрации лактата в крови, тесно взаимосвязаны, и имеют одинаковый характер зависимости от интенсивности внешней нагрузки в диапазоне от аэробного порога до максимальной анаэробной мощности. При этом, относительные пульсометрические показатели, отражающие величину нагрузки, имеют, как правило, большие значения, чем аналогичные газометрические, что отражает сложные взаимодействия между различными компонентами системы энергетического обеспечения, и требует дальнейших исследований.

В научный оборот и в тренировочную практику вводятся понятия: «нагрузочная экспозиция» и «доза воздействия нагрузки» (и алгоритмы их расчета), которые расширяют теоретические представления об организации энерговегетативного обеспечения напряженной физической работы, и могут быть полезны в практике спортивной тренировки.

На основании экспериментальных данных высказано предположение об участии мышц шеи в утилизации лактата во время напряженной работы выше уровня анаэробного порога.

Показано, что переломные моменты в динамике ЧСС при непрерывной работе повышающейся мощности, и в последующем срочном восстановлении (соответствующие максимальной ЧСС и точке перегиба пульсовой кривой в восстановлении), отражают изменения в функциональном состоянии спортсмена, и в совокупности с эргометрическими показателями работы имеют прогностическое значение для определения АНП, что позволяет провести графический расчет АНП по динамике ЧСС во время работы нарастающей мощности и восстановления.

Полученные в эксперименте данные говорят о существовании значимых различий между лактатным АНП и другими видами АНП, в том числе рассчитанным по предложенному нами алгоритму графического расчета.

**Практическая значимость:**

Практическая ценность работы состоит в разработке конкретных методик для оценки важнейших характеристик нагрузки спортсменов циклических видов спорта (анаэробный порог, интенсивность физиологических затрат, анаэробный вклад в энергообеспечение, доза физической нагрузки и др.) на основе применения неинвазивных (термографических, пульсометрических,

эргометрических) методов исследования.

С помощью рассчитанных по предложенным алгоритмам пульсометрических показателей - интенсивности физиологических затрат ( $УИФЗ_{чсс}$ ) и относительного вклада анаэробных источников ( $АнВ_{чсс}$ ) - можно определять энергетическую направленность физических нагрузок, а также величину и направленность изменений работоспособности спортсмена при динамических наблюдениях.

Для количественной оценки воздействия физической нагрузки предложены алгоритмы расчёта новых показателей: дозы воздействия нагрузки ( $ДН_{чсс}$ ), ее анаэробной части ( $ДНан_{чсс}$ ), а также нагрузочной экспозиции ( $НЭ_{чсс}$  и ее анаэробной части ( $НЭан_{чсс}$ ).

Если у спортсмена нет возможности регулярно проходить тестирование для оценки АНП в специальной лаборатории, то рекомендуется использовать предложенный графический метод расчета АНП по пульсограмме работы и восстановления. Метод можно использовать в тестировании на любых тренажерных устройствах, на которых установлены датчики скорости/мощности, либо в полевых протоколах, в которых нагрузка может повышаться равномерно.

Все эти приёмы направлены на укрепление информационного обеспечения тренера для оценки функционального состояния спортсмена, что позволяет повысить качество оперативного контроля и уровень индивидуализации нагрузки для спортсмена.

#### **Методология исследования:**

Методология исследования базируется на современных представлениях об энергетике мышечной деятельности, физиологических реакциях организма в ответ на физическую нагрузку и методах физиологического контроля в тренировочной практике (Фарфель В.С., Astrand P.-O., Margaria R., Волков Н.И., Коц Я.М., Корниенко И.А., Тамбовцева Р.В.), включая экспериментальные и теоретические работы сотрудников и аспирантов кафедры физиологии РУС «ГЦОЛИФК» (Сонькин В. Д., Алексеев В.М., Акимов Е.Б., Андреев Р.С., Белицкая Л.А., Парфентьева О.И., Якушкин А.В.), посвященные изучению проблем адаптации в спорте.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Пульсометрические показатели относительной интенсивности физиологических затрат и структуры энергообеспечения, и аналогичные им показатели, определяемые по потреблению кислорода и концентрации лактата в крови, тесно взаимосвязаны и имеют одинаковый характер зависимости от интенсивности внешней нагрузки в диапазоне от аэробного порога до максимальной анаэробной мощности, поэтому взаимозаменяемы.

2. Показатель дозы воздействия физической нагрузки отражает совокупность объема выполненной в упражнении механической работы и перенесенного при этом физиологического напряжения организма. Показатель анаэробной части дозы воздействия физической нагрузки тесно коррелирует с максимальными значениями концентрации лактата в крови, которые зависят от участия в энергообеспечении анаэробного гликолиза.

3. При тестировании с равномерным повышением нагрузки, с момента достижения АНП изменение кожной температуры спортсмена и концентрации лактата в крови тесно взаимосвязаны, что позволяет использовать бесконтактную динамическую термограмму для приблизительной оценки величины АНП.

4. Переломные моменты в динамике ЧСС при непрерывной работе с повышением нагрузки и в последующем срочном восстановлении отражают физическое состояние спортсмена, и в совокупности имеют прогностическое значение для определения АНП.

**Апробация работы:** Исследования выполнены в ходе подготовки квалифицированных спортсменов на этапе высшего спортивного мастерства в рамках плановых тестирований членов спортивных команд в ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта. Результаты исследования опубликованы в научной периодической печати, а также представлены в Материалах 2-го Международного конгресса по исследованиям и поддержке технологий в области спортивных наук, Рим, 2014; в Материалах Краеугольные симпозиумы по молекулярной и клеточной биологии. Snowbird, Юта, 2014; в Материалах Всероссийской научно-практической интернет-конференции «Актуальные проблемы биохимии и биоэнергетики спорта XXI века», 2016-2017; в Материалах II Всероссийской научно-практической конференции по вопросам спортивной науки в детско-юношеском и адаптивном

спорте, 2017; в Материалах X Всероссийской с международным участием школы-конференции по физиологии мышц и мышечной деятельности, посвященной памяти Инесы Бенедиктовны Козловской и приуроченной к году науки и технологий «Новые подходы к изучению проблем физиологии экстремальных состояний», 2021; в Материалах X Международного Конгресса, посвященного 125-летию со дня создания НГУ им. П.Ф. Лесгафта «Спорт, Человек, Здоровье», 2021; в Сборнике тезисов IX Российской, с международным участием, конференции по управлению движением, посвященной 95-летию со дня рождения И.Б. Козловской «Motor control», 2022; в материалах 24 Съезда физиологического общества им. И.П. Павлова, 2023г.

**Публикации:** По теме диссертации опубликовано 19 печатных работ, в том числе 9 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК для опубликования материалов диссертаций, и 1 монография.

**Структура и объем диссертации:** Диссертация изложена на 138 страницах, состоит из Введения, Основной части («Обзор литературы», «Материалы и методы», «Результаты собственных исследований»), Заключения, Выводов, Практических рекомендаций и Списка литературы. Диссертационная работа иллюстрирована 30 рисунками и 15 таблицами. Список литературы содержит 204 источника, из которых 173 зарубежных.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

### Организация, материалы и методы исследования

Исследование проведено на базе Центра Спортивных Технологий и Сборных Команд Москомспорта в 2014 – 2023 гг. и включало 3 этапа (Таб. 1). Всего в исследовании принял участие 141 высококвалифицированный спортсмен. Возраст спортсменов составлял от 18 до 32 лет. Все испытуемые были мужского пола.

**Таблица 1. Организация и этапы исследования**

<i>Этап исследования</i>	<i>Содержание этапа</i>
Термографический способ определения АНП	2014-2015 гг.: Оценка возможности использования инфракрасной термографии для определения параметров анаэробного порога: смешанная группа спортсменов, (бегуны, представители игровых видов спорта и единоборств, n=13).
Графический метод расчета времени достижения анаэробного порога у спортсменов по динамике ЧСС в работе нарастающей мощности до отказа и восстановительном периоде	2017-2019 гг.: Разработка пульсографического метода определения АНП в тесте с повышением нагрузки до отказа: смешанная группа спортсменов (бегуны, представители игровых видов спорта и единоборств, n=32), велосипедисты (n=14). 2020-2022 гг.: Оценка информативности пульсографического метода определения АНП в зависимости от протоколов нагрузки и видов нагрузочных устройств: биатлонисты (n=18), футболисты (n=27), гребцы (n=19).
Метод расчета интенсивности физиологических затрат и структуры энергообеспечения при циклической работе различной мощности	2020-2023 гг.: Разработка и оценка информативности пульсометрических методов расчета интенсивности энергозатрат и структуры энергообеспечения для физических упражнений в диапазоне нагрузок от аэробного порога до максимальной анаэробной мощности: велосипедисты ВМХ и шоссейники (n=18).

Программа исследования была одобрена Локальным биоэтическим комитетом «ЦСТиСК» (протокол №12 от 27.01.2020г.).

Все спортсмены перед исследованием получали медицинское заключение о возможности проведения тестов с максимальными нагрузками, а также подписывали информированное согласие на участие в экспериментальных исследованиях. Всего было проведено 985 антропометрических, эргометрических и физиологических измерений в покое и при выполнении физической нагрузки.

### МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### *Антропометрические измерения*

Все испытуемые проходили антропометрическое обследование, в ходе которого проводили измерение длины тела с помощью металлического антропометра Tanita с точностью  $\pm 0,1$  см и массы тела с помощью электронных весов Tanita с точностью  $\pm 0,1$  кг).

### ***Эргометрические измерения***

1. Тестирование с повышением нагрузки до отказа от продолжения работы проводилось у разных групп спортсменов на различных нагрузочных устройствах в следующих протоколах нагрузки:

а) *Смешанная группа* спортсменов и *группа футболистов* выполняли непрерывную плавно повышающуюся нагрузку на беговом тредбане Woodway Pro XL в «рамп» протоколе: начальная скорость 7 км/ч, повышение на 0,1 км/ч каждые 10 секунд, наклон бегового полотна 1%;

б) *Велосипедисты* выполняли непрерывную ступенчато повышающуюся нагрузку на велоэргометре Lode Excalibur sport: мощность первой ступени 60 Вт, далее повышалась каждые 2 мин на 30 Вт, частота вращения педалей 70–75 оборотов в минуту;

в) *Биатлонисты* выполняли непрерывную ступенчато повышающуюся нагрузку на лыжероллерном тредбане: начальная скорость бегового полотна 9 км/ч, повышение нагрузки каждые 3 мин на 2 км/ч, наклон бегового полотна 3%;

г) *Гребцы* выполняли ступенчато повышающуюся нагрузку на гребном эргометре CONCEPT-2: мощность первой ступени 100 Вт, далее мощность повышалась каждые 2 мин на 50 Вт, по окончании каждой ступени, в течение 30 секунд, делался перерыв в работе для забора капиллярной крови.

Отказ во всех случаях фиксировали индивидуально по заявлению испытуемого или при явной невозможности поддерживать заданную интенсивность нагрузки.

2. Тестирование в серии упражнений на велоэргометре LODE Excalibur Sport с фиксированной продолжительностью 10, 30, 60, 120, 360, 1800, 7200 секунд для определения функциональных характеристик работоспособности:

а) Предельные упражнения продолжительностью 10 и 30 секунд выполнялись в режиме «во всю», предельные упражнения 60, 120 и 360 секунд выполнялись с установкой проявить наибольшую среднюю производительность.

б) Упражнения продолжительностью 1800 и 7200 секунд выполнялись на мощности соответственно индивидуальным характеристикам А<sub>нП</sub> и А<sub>эП</sub>, определенным заранее.

Все упражнения выполнялись в разные дни, с отдыхом 1–2 дня между тестированиями. Непосредственно перед тестированием спортсмены проводили стандартную легкую разминку.

### ***Термографические измерения***

Для регистрации термограмм использовали инфракрасную камеру NEC TH - 9100 ( $\pm 0,1$  градус), и регистрирующую аппаратуру (ноутбук со специальной программой). Регистрацию динамической термограммы производили в режиме видеосъемки с частотой 4 кадра/с, при этом тепловизор располагался на высоте 1,4 м над уровнем пола на расстоянии 2 м от испытуемого, находящегося на тредбане. При обработке термограммы с помощью специализированного программного обеспечения Image Processor® фиксировали текущую максимальную температуру выделенного участка кожи. Измерения проводились в процессе работы и 10 мин восстановления.

### ***Методы физиологических измерений***

С помощью газоанализатора Cortex Metalyzer 3В, который калибровали непосредственно перед проведением каждого исследования, во всех группах испытуемых по 5-ти секундным интервалам времени измеряли потребление кислорода ( $\pm 1\%$ ), выделение углекислого газа ( $\pm 1\%$ ) и легочную вентиляцию ( $\pm 2\%$ ). ЧСС регистрировали по 5- секундным интервалам времени с помощью кардиомонитора Polar H10 ( $\pm 2$  уд/мин). В течение 5 мин измеряли предстартовый уровень функциональных показателей. Далее функциональные показатели непрерывно измеряли во время выполнения работы и на протяжении 10 мин восстановительного периода.

### ***Методы биохимических измерений в крови***

Кровь для определения концентрации лактата брали из дистальной фаланги безымянного пальца непосредственно перед каждым тестированием, во время работы (только в тестах с повышением нагрузки), сразу после его завершения, и далее на 3, 5, 7, 10 мин после окончания работы. Концентрацию лактата в отобранных пробах капиллярной крови определяли на автоматическом анализаторе Biosen C-Line (Германия).

## РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ

### *Расчет мощности и скорости в ступенчатых протоколах*

Если в тестированиях, в которых нагрузка повышалась по «ступенчатому» протоколу, спортсмен не всегда был способен обработать с заданной интенсивностью до конца последней «ступени», то за максимальную мощность ( $W_{max}$ ) принимали расчетное значение:

$$W_{max} = W_{n-1} + (W_n - W_{n-1}) \times t_n / t_{n-1}, \quad (\text{ф. 1}).$$

где  $W_n$  – средняя мощность последней ступени (Вт);  $W_{n-1}$  – средняя мощность предпоследней ступени (Вт);  $t_n$  – время работы на последней ступени (мин);

$t_{n-1}$  – заданное время работы на ступени. Максимальную скорость ( $V_{max}$ ), а также мощность и скорость, соответствующие АИП, рассчитывали так же (Попов Д. В. и др., 2014).

### *Расчет внешней физической нагрузки*

$ВН$  – внешняя физическая нагрузка в упражнении (кДж/кг):

$$ВН = t_{yup} \times W_{yup} \times 60 / 1000, \quad (\text{ф. 2}), \text{ где}$$

$t_{yup}$  – время работы в упражнении (с);

$W_{yup}$  – средняя относительная мощность упражнения, Вт/кг;

### *Определение АИП и соответствующих эргометрических и физиологических показателей по данным газообмена и лактата*

АИП определяли разными способами: 1) по резкому росту уровня легочной вентиляции ( $АИП-V_E$ ), 2) по резкому росту неметаболического излишка углекислого газа ( $АИП-ExсCO_2$ ), при  $ExсCO_2 = V \cdot CO_2 - DK_{покоя} \times V \cdot O_2$ , 3) по резкому росту накопления лактата в капиллярной крови ( $АИП-La$ ) (Wasserman K., et al, 1999).  $АИП-La$  определяли методом D-max (Cheng B., et al, 1992). Метод был выбран для стандартизации расчетных процедур, основываясь на выводах, сделанных в работах R. M. Nicholson, et al, 2001; Czuba, et al, 2009.

### *Статистические методы*

Статистический анализ данных проводился с помощью среды R (версия 3.5.1) и MS Excel. Нормальность распределения проверяли методом Шапиро-Уилка. Для определения силы и характера взаимосвязи между показателями использовался регрессионный анализ с расчетом коэффициентов детерминации.

Для сравнения значений аналогичных показателей АИП, определенных разными методами, у тех же спортсменов, был использован парный двух-выборочный t-тест для средних. В случаях ненормального распределения признаков, для сравнения значений показателей был использован T-критерий Вилкоксона. Для исследования силы связи между показателями, в зависимости от нормальности распределения был использован корреляционный анализ методом Пирсона или ранговой корреляции Спирмена (Гланц С., 1998).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### *Удельная интенсивность физиологических затрат и структура энергообеспечения при циклической работе различной мощности.*

Н.И.Волков и соавт. (Волков Н.И., и др., 2002) для определения энергетической направленности физических нагрузок и распределения их по зонам мощности Фарфеля, предложили измерять интенсивность упражнения в единицах MMR – максимальной скорости окислительного метаболизма. Этот показатель представляет собой удельную интенсивность физиологических затрат организма ( $УИФЗO_2$ ). Мы предположили, что аналогичный показатель, рассчитанный по данным ЧСС во время работы и восстановления ( $УИФЗчсс$ ), будет столь же информативен, обладая при этом достоинством простоты и удобства измерения в реальном тренировочном процессе. Показатель  $УИФЗчсс$  представляет собой отношение уровня пульсового запроса упражнения к пульсовому резерву спортсмена. Показатель  $УИФЗчсс$  объединяет подходы Карвонена (Karvonen M.J., et al, 1957) (оценка интенсивности аэробных процессов) и Король и др. (1985) (оценка интенсивности анаэробных процессов по величине ИИПД), и является числовым выражением удельной интенсивности физиологических затрат (поскольку он нормирован по индивидуальной величине пульсового резерва) при выполнении практически любого циклического упражнения.

Для проверки информативности показателя  $УИФЗ_{чсс}$  и  $АнВ_{чсс}$  по сравнению с аналогичными показателями, рассчитанными по объемам потребленного  $O_2$  –  $УИФЗ_{O_2}$  и  $АнВ_{O_2}$ , мы провели специальную серию исследований, в которых одни и те же испытуемые–спортсмены выполняли в разные дни циклические нагрузки различной фиксированной длительности: предельные (10, 30, 60, 120 и 360 с) и непредельные - на уровне АНП и АЭП (1800 и 7200 с, соответственно).

В Таб. 2 содержатся средние групповые данные испытуемых, участвовавших в этой серии исследований.

**Таблица 2.** Антропометрические и максимальные функциональные показатели ( $M \pm \sigma$ ) участников исследования по результатам рамп-теста ( $n = 18$ )

Масса тела	Длина тела	МПК <sub>абс</sub>	МПК <sub>отн</sub>	ЧСС <sub>макс</sub>	Мощность МПК
кг	см	л/мин	мл/мин/кг	уд/мин	Вт/кг
71,3±8,5	179±15	4,024±0,93	56,8±12,9	190±10	4,64±0,5

Эргометрические и физиологические показатели, рассчитанные по пульсовым суммам и по потреблению кислорода в упражнениях с предельной продолжительностью и в упражнениях с непредельной продолжительностью, в диапазоне нагрузок от аэробного порога до максимальной анаэробной мощности, представлены в Таб. 3.

**Таблица 3.** Эргометрические и физиологические показатели ( $M \pm \sigma$ ), полученные в предельных и непредельных упражнениях ( $n=18$ )

Показатели	Предельная продолжительность упражнения, с					Непредельная продолжительность упражнения, с	
	10	30	60	120	360	1800	7200
$W_{cp}$ , Вт	727±114	694±97	562±76	443±67	346±63	268±36	149±25
$W_{cp}$ , Вт/кг	10.4±0.8	9.8±0.7	7.9±0.6	6.3±0.7	4.9±0.8	3.8±0.5	2.1±0.2
$УИФЗ_{O_2}$ , у.ед.	9.4±2.4	4.1±0.9	2.7±0.7	1.8±0.4	1.2±0.3	0.78±0.1	0.48±0.1
$УИФЗ_{чсс}$ , у.ед.	8.3±2.8	4.8±0.9	3.0±0.4	1.9±0.2	1.2±0.1	0.88±0.1	0.47±0.1
$АнВ_{O_2}$ , %	98±1	90±5	76±6	57±5	28±3	6±1	1±0
$АнВ_{чсс}$ , %	95±2	88±5	77±4	61±5	32±4	9±1	2±1
максЛа, ммоль/л	7.02±1.8	14.7±2.5	16.1±2.4	15.8±2.4	14.4±2.6	7.00±4.1	1.66±2.2
СОКЗ, л/мин	34±7	15±4	9.8±2.0	6.6±1.5	4.5±0.8	3.3±0.6	2.0±0.3
САЛа, ммоль/л/мин	32±9	22±6	13±2	6.5±1.3	1.93±0.5	0.20±0.1	0.002±0.0

Примечание: сокращения – см. Список использованных сокращений и условных обозначений, с.23

Показатели  $УИФЗ_{чсс}$  и  $АнВ_{чсс}$  в предельных (10, 30, 60, 120, 360 с) и в непредельных упражнениях на уровне АНП (1800 с) и АЭП (7200 с) тесно взаимосвязаны с аналогичными показателями, рассчитанными по потреблению  $O_2$ , а также с мощностью упражнения, скоростью максимального накопления лактата и скоростью образования кислородного запроса (Таб. 4, 5).

**Таблица 4.** Коэффициенты детерминации ( $R^2$ ) регрессионного анализа взаимосвязей между  $УИФЗ_{O_2}$ ,  $УИФЗ_{чсс}$  и показателями интенсивности упражнения в диапазоне от АЭП до МАМ ( $n=124$ )

	$W_{cp}$	$W_{cp/m}$	СОКЗ	САЛа	$УИФЗ_{O_2}$	$УИФЗ_{чсс}$
$УИФЗ_{O_2}$	0,82*	0,86*	0,93	0,81	1,00	0,85
$УИФЗ_{чсс}$	0,88*	0,93*	0,71	0,89	0,85	1,00

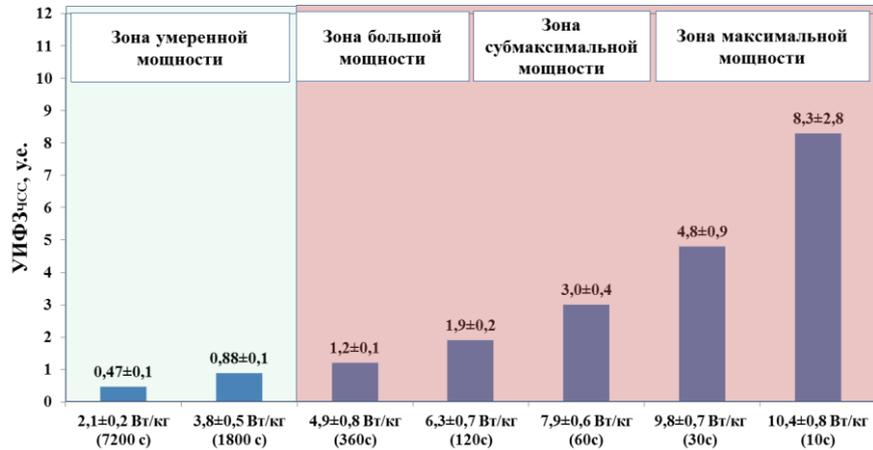
\*Экспоненциальный характер, остальные зависимости имеют линейный характер;

**Таблица 5.** Коэффициенты детерминации регрессионного анализа взаимосвязей между  $АнВ_{O_2}$ ,  $АнВ_{чсс}$  и показателями интенсивности упражнения в диапазоне нагрузок от АЭП до МАМ ( $n=124$ )

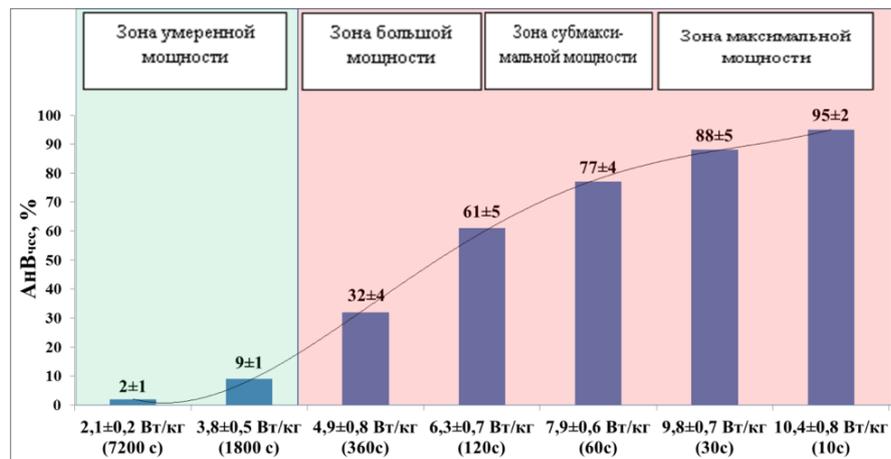
	$W_{cp}$	$W_{cp/m}$	СОКЗ	САЛа	$АнВ_{O_2}$	$АнВ_{чсс}$
$АнВ_{O_2}$	0,83**	0,86**	0,78**	0,90**	1,00	0,98
$АнВ_{чсс}$	0,86**	0,89**	0,74**	0,93**	0,98	1,00

\*\*Логарифмический характер, остальные зависимости имеют линейный характер;

Полученные результаты позволяют соотнести количественные характеристики  $УИФЗ_{чсс}$  и  $АнВ_{чсс}$  с различными зонами мощности, что может иметь прямое прикладное значение для управления тренировочным процессом. Используя усредненные групповые данные для каждого упражнения определенной продолжительности, мы построили диаграммы величин  $УИФЗ_{чсс}$  и  $АнВ_{чсс}$ , соответствующих фиксированному времени упражнений во всем диапазоне нагрузок от аэробного порога до максимальной анаэробной мощности (Рис. 1, 2).



**Рисунок 1.** Диаграмма величин  $УИФЗ_{чсс}$ , соответствующих фиксированному времени упражнений во всем диапазоне нагрузок от аэробного порога до максимальной анаэробной мощности ( $n=18$ ). На диаграмме упражнения с предельными нагрузками и не предельными нагрузками выделены разными оттенками.



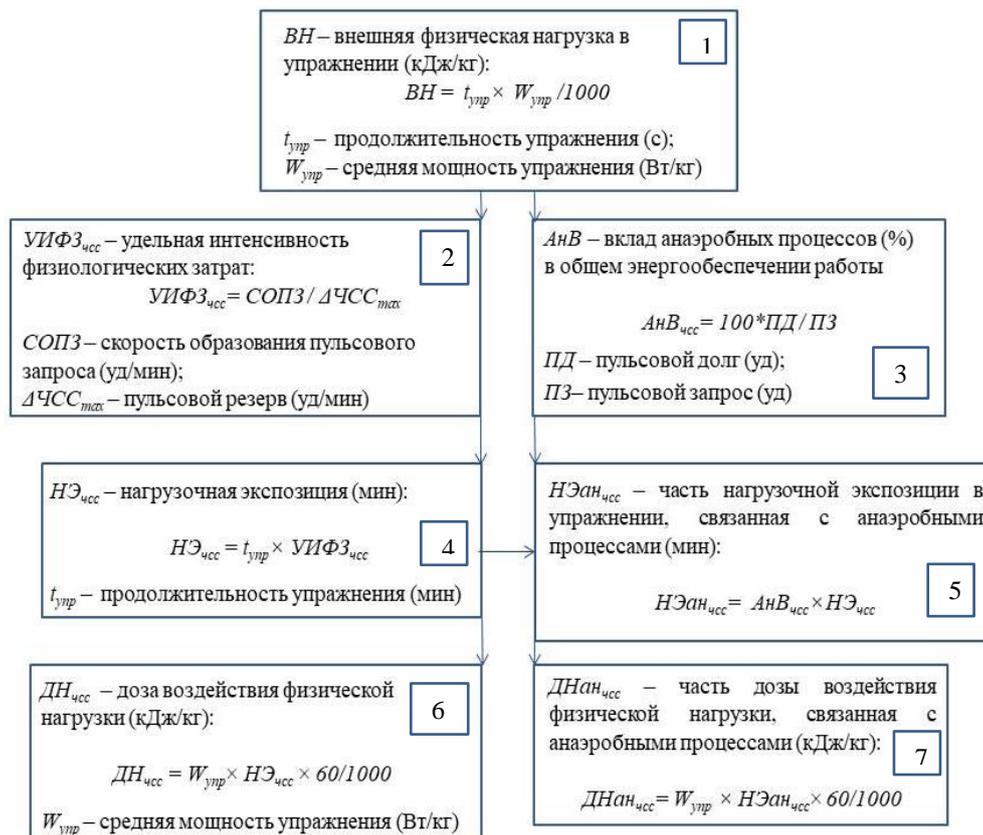
**Рисунок 2.** Диаграмма величин  $АнВ_{чсс}$ , соответствующих фиксированному времени выполнения упражнений во всем диапазоне нагрузок от аэробного порога до максимальной анаэробной мощности ( $n=18$ ). На диаграмме упражнения с предельными нагрузками и не предельными нагрузками выделены разными оттенками.

Наряду с учетом интенсивности физиологических затрат и структуры энергообеспечения, необходимо учитывать соотношение внешней (т.е. механической) и внутренней (т.е. физиологической) работы для определения дозы воздействия нагрузки, которую переносит спортсмен в ходе тренировок. Суммарная оценка доз нагрузки разных упражнений необходима для анализа тяжести тренировки в целом. Такой анализ можно использовать для распределения и планирования тренировок различной величины тяжести в микро- и макроциклах подготовки, а также для сопоставления доз нагрузки на разных этапах подготовки спортсмена с его результативностью.

В недавней публикации (Impellizzeri F.M. et al., 2023) были предложены термины для обозначения объемов физической нагрузки, воздействующей на организм спортсмена при выполнении упражнений: доза воздействия нагрузки ( $ДН$ ) и нагрузочная экспозиция ( $НЭ$ ). В нашем

случае, нагрузочная экспозиция представляет собой произведение удельной интенсивности физиологических затрат на время выполнения упражнения, а доза воздействия нагрузки рассчитывается как произведение мощности нагрузки на величину  $HЭ$ . В первом случае мы получаем показатель времени воздействия при определенной интенсивности, а во втором - количество выполненной работы, в которой учитывается физиологическое напряжение организма.

Мы предположили, что на основе  $УИФЗ_{чсс}$ ,  $АнВ_{чсс}$  и внешней физической нагрузки ( $ВН$ ) можно корректно рассчитывать дозу воздействия физической нагрузки ( $ДН$ ) в упражнении и ту её часть, которая обеспечивается за счет анаэробных процессов ( $ДН_{ан}$ ) (Рис. 3).



**Рисунок 3.** Алгоритм расчета дозы воздействия физической нагрузки на основании эргометрических и физиологических показателей упражнения.

Примечания: Внешняя физическая нагрузка ( $ВН$ ) [1] вызывает физиологический ответ организма в виде суммы аэробных и анаэробных затрат определенной интенсивности ( $УИФЗ_{чсс}$ ) [2] и в определенном соотношении ( $АнВ_{чсс}$ ) [3].

Из  $УИФЗ_{чсс}$  [2] и продолжительности работы рассчитывается нагрузочная экспозиция ( $НЭ_{чсс}$ ) [4].

Из нагрузочной экспозиции ( $НЭ_{чсс}$ ) [4] и её анаэробной составляющей  $АнВ_{чсс}$  [3] рассчитывается анаэробная часть нагрузочной экспозиции ( $НЭ_{ан_{чсс}}$ ) [5].

Из мощности внешней нагрузки ( $W_{упр}$ ) [1] и нагрузочной экспозиции ( $НЭ_{чсс}$ ) [4] рассчитывается доза воздействия нагрузки ( $ДН_{чсс}$ ) [6]. Аналогично, из мощности внешней нагрузки ( $W_{упр}$ ) и анаэробной части нагрузочной экспозиции ( $НЭ_{ан_{чсс}}$ ) [5] рассчитывается анаэробная часть дозы воздействия нагрузки ( $ДН_{ан_{чсс}}$ ) [7].

С помощью эргометрических показателей  $t_{упр}$ ,  $W_{упр}$ , а также  $УИФЗ$  и  $АнВ$ , рассчитанных по объемам потребленного  $O_2$  и по ЧСС, исходя из работы Impellizzeri F.M. et al. (2023), мы рассчитали внешнюю нагрузку ( $ВН$ ), нагрузочную экспозицию ( $НЭ_{O_2}$ ,  $НЭ_{чсс}$ ), анаэробную часть нагрузочной экспозиции ( $НЭ_{ан_{O_2}}$ ,  $НЭ_{ан_{чсс}}$ ), дозу воздействия физической нагрузки ( $ДН_{O_2}$ ,  $ДН_{чсс}$ ) и ее анаэробную часть ( $ДН_{ан_{O_2}}$ ,  $ДН_{ан_{чсс}}$ ) в предельных и непредельных упражнениях, в диапазоне нагрузок от АЭП до МАМ. Результаты представлены в Таблице 6.

Из Таб. 6 видно, что практически во всех упражнениях (кроме 10-секундного) значения показателей  $НЭ_{чсс}$  и  $НЭ_{ан_{чсс}}$ ,  $ДН_{чсс}$  и  $ДН_{ан_{чсс}}$ , выше значений аналогичных показателей, рассчитанных по объемам потребленного  $O_2$ . Вероятно, это связано с тем, что объемы потребленного  $O_2$  характеризуют энергетическую составляющую, а пульсовые суммы характеризуют физиологические затраты, одна часть которых направлена на энергообеспечение физической работы,

а другая - на обеспечение регуляторных процессов во время работы и восстановления. То, что значения показателей  $HЭ_{чсс}$  и  $HЭан_{чсс}$ ,  $ДН_{чсс}$  и  $ДНан_{чсс}$  в 10-секундном упражнении практически не отличаются от аналогичных показателей, рассчитанных по объемам потребленного  $O_2$ , очевидно связано с тем, что за 10 секунд предельной работы, которая обеспечивается преимущественно алактатным механизмом (Margarita R., 1976), вегетативные процессы и анаэробный гликолиз не успевают развернуться соответственно уровню энергообеспечения.

**Таблица 6.** Внешняя физическая нагрузка, нагрузочная экспозиция и доза воздействия нагрузки ( $M \pm \sigma$ ), рассчитанные для предельных и непредельных упражнений ( $n=18$ )

Показатели	Предельная продолжительность упражнения, с					Непредельная продолжительность упражнения, с	
	10	30	60	120	360	1800	7200
$ВН$ , кДж/кг	0,1±0,01	0,29±0,02	0,47±0,04	0,75±0,09	1,76±0,3	6,80±0,8	15,1±1,6
$HЭ_{O_2}$ , мин	1,33±0,3	1,72±0,4	2,36±0,5	3,19±0,7	6,79±1,2	23,0±3,1	54,9±7,8
$HЭ_{чсс}$ , мин	1,37±0,5	2,38±0,4	3,03±0,4	3,80±0,4	7,46±0,6	26,4±2,8	56,9±6,8
$ДН_{O_2}$ , кДж/кг	0,84±0,24	1,01±0,22	1,11±0,25	1,19±0,24	1,97±0,39	5,21±1,01	6,93±1,32
$ДН_{чсс}$ , кДж/кг	0,86±0,34	1,40±0,34	1,44±0,24	1,43±0,22	2,18±0,36	6,03±0,12	7,19±1,30
$HЭан_{O_2}$ , мин	1,30±0,3	1,52±0,4	1,77±0,5	1,76±0,5	1,80±0,5	1,30±0,2	0,74±0,2
$HЭан_{чсс}$ , мин	1,32±0,5	2,09±0,5	2,35±0,4	2,32±0,4	2,42±0,4	2,27±0,4	0,90±0,4
$ДНан_{O_2}$ , кДж/кг	0,82±0,24	0,89±0,22	0,84±0,23	0,65±0,17	0,52±0,13	0,29±0,06	0,09±0,03
$ДНан_{чсс}$ , кДж/кг	0,83±0,34	1,24±0,33	1,12±0,22	0,87±0,18	0,71±0,16	0,52±0,14	0,12±0,05

Примечание: сокращения – см. Список использованных сокращений и условных обозначений, с.23

Т. к. внешняя и внутренняя нагрузка являются составляющими дозы воздействия физической нагрузки, и при этом всегда взаимосвязаны между собой (Impellizzeri F.M. et al, 2023), мы рассчитали взаимосвязи между всеми показателями, которые характеризуют физическую нагрузку в целом (Таб. 7). Как показывают результаты, показатели, характеризующие физическую нагрузку в предельных (10, 30, 60, 120, 360 с) и в непредельных упражнениях на уровне  $AЭП$  (1800 с) и  $АнП$  (7200 с), вычисленные из данных газообмена и пульсограммы, весьма тесно взаимосвязаны.

**Таблица 7.** Коэффициенты детерминации ( $R^2$ ) регрессионного анализа взаимосвязей между показателями, характеризующими физическую нагрузку в целом в диапазоне от  $AЭП$  до  $МАМ$  ( $n=124$ ).

	$ВН$	$HЭ_{O_2}$	$HЭ_{чсс}$	$ДН_{O_2}$	$ДН_{чсс}$
$ВН$	1,00	0,96	0,97	0,89	0,87
$HЭ_{O_2}$	0,96	1,00	0,98	0,90	0,82
$HЭ_{чсс}$	0,97	0,98	1,00	0,90	0,87
$ДН_{O_2}$	0,89	0,90	0,90	1,00	0,96
$ДН_{чсс}$	0,87	0,82	0,87	0,96	1,00

Мы выявили значимые взаимосвязи между  $максЛа$  и представленными одноименными показателями  $HЭан$ , рассчитанными по объемам потребленного  $O_2$  и по пульсовым суммам (Таб. 8).

**Таблица 8.** Коэффициенты детерминации ( $R^2$ ) регрессионного анализа взаимосвязи между анаэробной частью нагрузочной экспозиции ( $HЭан_{O_2}$  и  $HЭан_{чсс}$ ) и  $максЛа$  в диапазоне нагрузок от  $AЭП$  до  $МАМ$  ( $n=124$ ).

	$HЭан_{O_2}$	$HЭан_{чсс}$
$максЛа$	0,52	0,59
$HЭан_{O_2}$	1,00	0,42

Согласно данным Таб. 8, показатели  $HЭан_{O_2}$  и  $HЭан_{чсс}$  умеренно взаимосвязаны друг с другом, но достаточно сильно линейно взаимосвязаны с  $максЛа$ .

Результаты, представленные в Таб. 7 и 8, позволяют использовать показатели  $HЭ_{чсс}$  и  $HЭан_{чсс}$  для количественной оценки физической нагрузки в том случае, если нет возможности

регистривать потребление  $O_2$ ,  $La$  и мощность или скорость внешней нагрузки. Представленные результаты позволяют использовать показатели дозы воздействия нагрузки  $ДН_{чсс}$  и  $ДН_{анчсс}$  для количественной оценки воздействия физической нагрузки на организм спортсмена.

Проведенные исследования показали, что относительные пульсометрические показатели, характеризующие интенсивность энергозатрат и структуру энергообеспечения при выполнении циклических упражнений, а также аналогичные им показатели, которые определяются с помощью измерения потребления кислорода и концентрации лактата в крови, тесно взаимосвязаны, и имеют одинаковый характер зависимости от интенсивности внешней нагрузки в диапазоне от аэробного порога до максимальной анаэробной мощности. При этом, пульсометрические показатели, отражающие величину нагрузки, имеют чаще всего большие значения, чем аналогичные газометрические, что отражает сложные взаимодействия между различными компонентами системы энергетического обеспечения, и требует дальнейших исследований. Результаты исследования могут иметь большое значение для понимания процессов срочной адаптации организма к циклической физической нагрузке.

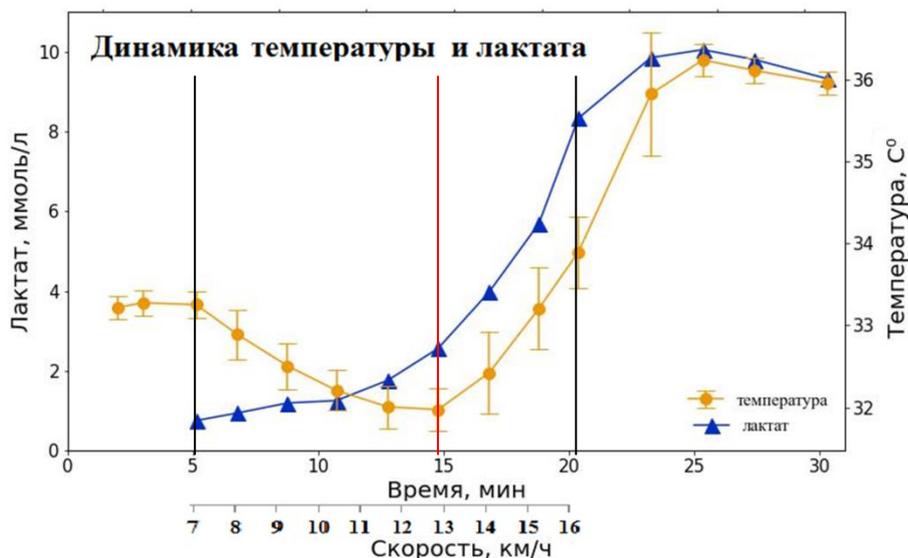
### **Термографический способ определения АНП**

В Таб. 9 представлены средние данные массы тела и максимальных эргометрических и физиологических показателей нагрузочного тестирования испытуемых, участвовавших в данной серии исследований.

**Таблица 9.** Показатели, характеризующие физическое состояние испытуемых в тесте с повышением нагрузки ( $M \pm \sigma$ ,  $N = 13$ )

Параметр	$m$	$МПК_{отн}$	$МПК_{абс}$	$ЧСС_{макс}$	$t_{max}$	$V_{max}$
Размерность	кг	мл/кг/мин	л/мин	уд/мин	мин	км/ч
Величина показателя	$68,0 \pm 10,4$	$59,1 \pm 6,3$	$4,0 \pm 0,7$	$199 \pm 6$	$16,39 \pm 2,0$	$16,8 \pm 1,2$

Мы анализировали изменение индивидуальной динамики температуры поверхности спины и шеи в зависимости от скорости бега, т.е. фиксировали начало быстрого роста температуры и сопоставляли его с АНП, который определялся по динамике концентрации лактата в крови (Рис. 4).



**Рисунок 4.** Индивидуальная динамика температуры кожи спины и концентрации лактата в крови при выполнении рамп-теста на тредбане. Испытуемый Н.Н.

Во время бега с повышением скорости температура поверхности спины испытуемых вначале снижается благодаря усиливающемуся потоотделению, но после достижения АНП быстро повышается, и достигает максимума в момент отказа от работы или вскоре после этого (Рис. 4). Данные по температуре в каждой точке на графике усреднены в диапазоне  $\pm 1$  минута от момента измерения лактата. Из-за значительных вертикальных и горизонтальных смещений корпуса

испытуемого во время бега, динамика температуры поверхности спины, измеренная тепловизором, имеет большой разброс.

Во всех случаях, повышение концентрации лактата предшествует повышению кожной температуры. До достижения *АнП* взаимосвязь содержания лактата в крови и температуры спины отсутствует. Начиная с момента достижения *АнП*, и до конца периода наблюдения, отмечена тесная положительная линейная взаимосвязь между максимальной температурой спины и шеи и содержанием лактата в периферической крови ( $R^2 > 0,9$ ).

Между скоростью бега, соответствующей *АнП-La* ( $13,3 \pm 0,89$ ) и скоростью бега, соответствующей *АнП- $t^{\circ}C$*  ( $12,9 \pm 1,3$ ), не выявлено статистических различий ( $p > 0,05$ ), но взаимосвязь между этими показателями из-за большого разброса данных является недостаточно высокой ( $R^2 = 0,35$ ), чтобы использовать динамику кожной температуры, измеренной тепловизором, для строгого определения *АнП*. По нашему мнению, термографический метод с применением тепловизора пригоден только для приблизительной оценки *АнП*.

Во время выполнения инкрементного теста повышение концентрации лактата предшествует повышению кожной температуры. Это позволяет предполагать, что повышение температуры в области шеи является следствием активации несократительного термогенеза, связанного, вероятно, с наличием в мембране митохондрий шейных мышц (тонической мускулатуры) разобщающего белка UCP2, аналогичного по своим свойствам протонофору UCP1 в буром жире (Козлов, Сонькин, 2019). В этом случае митохондрии способны к более активному окислению лактата, при этом генерируя дополнительное тепло, что и фиксирует динамическая термограмма. Эти факты характеризуют теплообменные процессы человека во время работы с повышением нагрузки как один из феноменов *АнП*, но из-за недостаточно высокой взаимосвязи между скоростью бега, соответствующей *АнП-La*, и скоростью бега, соответствующей *АнП- $t^{\circ}C$* , тепловизионный метод не пригоден для его строгого определения.

### ***Графический метод расчета времени достижения анаэробного порога по динамике ЧСС в тесте непрерывно нарастающей мощности до отказа***

Если на протяжении теста нагрузка равномерно нарастает с той или иной фиксированной скоростью, то мощность выполняемой нагрузки прямо пропорционально зависит от времени. – Это означает, что для анализа динамики физиологических процессов можно использовать временную шкалу. Предельное время при этом эквивалентно показателю максимальной достигнутой мощности/скорости. По завершении активной части теста, шкала времени сохраняет свое значение для оценки динамики пульсовой кривой в процессе восстановления, в частности, для определения границы между быстрой и медленной фазами восстановительного периода. Опираясь на эту динамику, мы можем формализовать процедуру определения значения времени *АнП* по параметрам пульсовой кривой с учетом как времени работы, так и периода восстановления.

Эмпирически разработанный расчет времени достижения *АнП* по динамике ЧСС графическим методом проводили с использованием MS Excel.

Параметрами этого графического построения являются:

- 1) время от начала процедуры тестирования до отказа от продолжения работы;
- 2) момент времени, соответствующий границе быстрой и медленной фаз восстановительного периода на пульсовой кривой;
- 3) величина ЧСС во время отказа от продолжения работы в тесте ( $ЧСС_{отк}$ );
- 4) величина ЧСС в момент прохождения точки перегиба пульсовой кривой, разделяющей быструю и медленную фазы восстановительного периода;

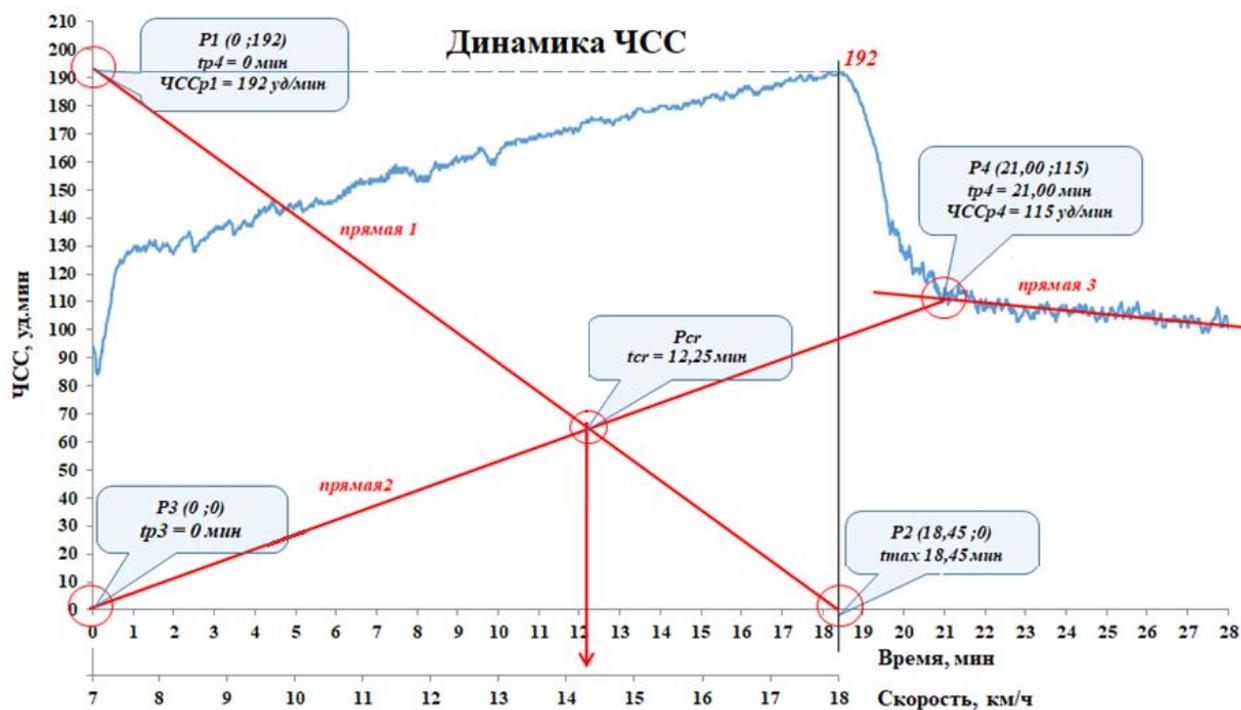
Пример расчета представлен на рис. 5. По шкале абсцисс отложено время от начала процедуры тестирования, а на шкале ординат – величина ЧСС, соответствующая времени выполнения равномерно повышающейся нагрузки или восстановления. На графике, отражающем фактическую динамику ЧСС во время работы и 10 мин восстановления, необходимо провести две прямые пересекающиеся линии. На Рис. 5 этими линиями являются прямые 1 и 2.

Положение Прямой 1 определяют координаты точки  $P1$  и точки  $P2$ , т.е. положение Прямой 1 зависит от значений времени отказа от продолжения работы в тестировании ( $t_{max}$ ) и от соответствующей отказу ЧСС ( $ЧСС_{отк}$ ).

Прямая 2 проводится между точкой начала координат ( $P3$ ) и точкой перегиба пульсовой кривой восстановления ( $P4$ ), т.е. положение Прямой 2 зависит от значений времени и ЧСС в момент, когда график динамики ЧСС во время восстановления переходит из быстрой фазы в медленную и приобретает линейный характер.

Для более точного нахождения точки  $P4$  можно построить еще одну прямую (Прямая 3), совпадающую с линейным трендом той части пульсовой кривой восстановления, которая относится к медленной фазе восстановительного периода.

Проекция точки перекреста прямых 1 и 2 ( $P_{cr}$ ) на шкалу абсцисс соответствует ВРЕМЕНИ достижения АнП, что позволяет также однозначно определить его мощность/скорость.



**Рисунок 5.** Пример определения АнП графическим методом по динамике ЧСС испытуемого во время выполнения физической работы и восстановления. Пояснения в тексте.

На чем основана предложенная методика графического расчета?

Динамика ЧСС в ходе работы и восстановления – это длящийся во времени процесс, в котором содержатся определенные «точки перегиба», то есть моменты резкого изменения динамических характеристик процесса. Таких моментов мы регистрируем три: момент начала работы (начало отсчета времени теста,  $P3$ ); момент отказа от продолжения работы ( $P1$  и  $P2$ ); момент завершения первой, быстрой фазы восстановления и перехода к медленной фазе, которому соответствует точка  $P4$ .

ЧСС является выражением одновременно регуляторной и метаболической составляющих процесса энерговегетативного обеспечения мышечной деятельности. Переломные моменты в динамике ЧСС при непрерывной работе с повышением мощности и в последующем срочном восстановлении имеют физиологический смысл и могут свидетельствовать об объеме и структуре физиологических затрат организма, которые зависят от индивидуальных особенностей работоспособности спортсмена. Теоретическое осмысление выявленного нами эмпирического феномена – предмет дальнейших исследований.

Для оценки информативности графического способа расчета АнП были обследованы 5 групп спортсменов различной специализации. В Таб. 10 представлены средние значения показателей времени и скорости/мощности АнП, вычисленных в каждой группе спортсменов, на основании четырех разных критериев: по легочной вентиляции ( $АнП-V^E$ ); по неметаболическому излишку  $CO_2$

( $An\Pi-ExcCO_2$ ); по лактату ( $An\Pi-La$ ) и по динамике ЧСС предложенным нами графическим методом ( $An\Pi-t_{cr}$ ), а также соответствующие этим эргометрическим характеристикам физиологические показатели ( $ЧСС$ ,  $V\dot{O}_2$ ,  $ExcCO_2$ ,  $V'E$ ,  $ДК$ ,  $La$ ), демонстрирующие напряженность функций организма при работе на уровне  $An\Pi$ .

Как показывают данные Таб. 10, внутри каждой группы спортсменов значения показателей, соответствующие  $An\Pi-t_{cr}$ , в большинстве случаев практически совпадают с одноименными показателями, соответствующими трем другим способам оценки  $An\Pi$  –  $An\Pi-V'E$ ,  $An\Pi-ExcCO_2$ ,  $An\Pi-La$ .

**Таблица 10.** Средние значения эргометрических и физиологических показателей на уровне  $An\Pi$ , полученные с помощью различных методов у разных групп спортсменов ( $M \pm \sigma$ ,  $N = 110$ )

Тесты	Критерии достижения $An\Pi$	$t$ , мин	$V$ , км/ч	$W$ , Вт	$ЧСС$ , уд/мин	$V\dot{O}_2$ , л/мин	$V'E$ , л/мин	$ДК$ , у.е.	$La$ , мМ/л
В рамп-тесте на беговом тредбане у смешанной группы (n=32)	$An\Pi-t_{cr}$	10,8±1,4	13,3±0,8		181±9	3,3±0,6	94±16	0,95±0,1	2,9±1,0
	$An\Pi-V'E$	10,7±1,5	13,3±0,9		181±8	3,3±0,6	93±17	0,9±0,1	2,9±1,0
	$An\Pi-ExcCO_2$	10,9±1,5	13,4±0,9		182±9	3,4±0,6	94±17	0,95±0,1	3,0±1,0
	$An\Pi-La$	10,4±1,4	13,1±0,8		179±9	3,3±0,6	91±16	0,94±0,1	2,7±0,9
В ступенчатом тесте на велоэргометре у велосипедистов (n=14)	$An\Pi-t_{cr}$	12,3±1,6		219±41	163±11	2,9±0,4	75±8	1,01±0,1	2,9±0,9
	$An\Pi-V'E$	12,3±1,9		218±44	163±11	2,9±0,4	73±8	1,00±0,1	2,9±0,8
	$An\Pi-ExcCO_2$	12,2±1,7		217±41	163±11	2,9±0,4	73±7	1,00±0,1	2,8±1,0
	$An\Pi-La$	11,7±1,7		210±37	160±12	2,8±0,3	71±8	0,99±0,1	2,6±0,8
В ступенчатом тесте на лыжероллерном тредбане у биатлонистов (n=18)	$An\Pi-t_{cr}$	14,1±2,4	16,3±1,6		175±10	3,7±0,7	101±15	0,95±0,3	2,9±0,8
	$An\Pi-V'E$	14,3±2,7	16,4±1,8		175±10	3,9±0,7	102±16	0,95±0,3	3,0±0,9
	$An\Pi-ExcCO_2$	14,4±2,7	16,4±1,9		175±10	3,9±0,7	102±16	0,95±0,3	3,0±0,9
	$An\Pi-La$	13,8±2,3	16,1±1,5		174±10	3,8±0,6	100±14	0,95±0,3	2,7±0,8
В рамп-тесте на беговом тредбане у футболистов (n=27)	$An\Pi-t_{cr}$	9,5±1,0	12,8±0,6		187±6	3,3±0,4	99±12	0,96±0,0	3,9±1,0
	$An\Pi-V'E$	9,3±1,3	12,6±0,8		186±7	3,3±0,4	96±12	0,95±0,0	3,7±0,0
	$An\Pi-ExcCO_2$	9,4±1,2	12,7±0,7		186±6	3,3±0,4	98±12	0,95±0,0	3,8±0,9
	$An\Pi-La$	8,6±1,2	12,2±0,7		183±7	3,2±0,3	92±11	0,94±0,0	3,3±0,8
В ступенчатом тесте на гребном эргометре у гребцов (n=19)	$An\Pi-t_{cr}$	11,1±1,7		278±33	181±9	3,7±0,3	109±12	0,90±0,1	3,8±0,7
	$An\Pi-V'E$	10,5±1,7		265±34	178±8	3,6±0,3	104±12	0,88±0,1	3,3±0,6
	$An\Pi-ExcCO_2$	10,4±1,6		274±32	180±8	3,7±0,3	108±13	0,88±0,1	3,6±0,6
	$An\Pi-La$	10,1±1,7		256±35	175±10	3,5±0,3	99±11	0,87±0,1	3,1±0,5

В Таб. 11 представлены результаты парного двух-выборочного теста. Были определены различия между эргометрическими и физиологическими показателями ( $t$ ,  $V$ ,  $W$ ,  $ЧСС$ ,  $V\dot{O}_2$ ,  $ExcCO_2$ ,  $V'E$ ,  $ДК$ ,  $La$ ) на уровне  $An\Pi-t_{cr}$  и одноименными показателями на уровне  $An\Pi-V'E$ ,  $An\Pi-ExcCO_2$ ,  $An\Pi-La$ .

**Таблица 11.** Достоверность статистических различий между парами одноименных показателей для 3 способов определения  $An\Pi$  по отношению к графическому методу  $An\Pi-t_{cr}$ . Значимыми являются различия при  $p < 0.05$  ( $N = 110$ )

Вид теста	Определ. $An\Pi$	$t$	$V/W$	$ЧСС$	$V\dot{O}_2$	$V'E$	$ДК$	$La$
В рамп-тесте на беговом тредбане у смешанной группы (n=32)	$An\Pi-V'E$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	$An\Pi-ExcCO_2$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	$An\Pi-La$	***	***	***	ns	***	***	***
В ступенчатом тесте на велоэргометре у велосипедистов (n=14)	$An\Pi-V'E$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	$An\Pi-ExcCO_2$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	$An\Pi-La$	***	ns	***	***	***	***	***
В ступенчатом тесте на лыжероллерном тредбане у биатлонистов (n=18)	$An\Pi-V'E$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	$An\Pi-ExcCO_2$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	$An\Pi-La$	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
В рамп-тесте на беговом тредбане у футболистов (n=27)	$An\Pi-V'E$	ns	ns	ns	ns	***	***	ns
	$An\Pi-ExcCO_2$	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	$An\Pi-La$	***	***	***	***	***	***	***
В ступенчатом тесте на гребном эргометре у гребцов (n=19)	$An\Pi-V'E$	***	***	***	ns	ns	***	***
	$An\Pi-ExcCO_2$	***	***	ns	ns	***	***	***
	$An\Pi-La$	***	***	***	***	***	***	***

Примечание: ns – различия незначимы; \*\*\* – различия значимы (при  $p < 0.05$ )

Данные Таб. 11 показывают, что результаты, полученные в ступенчатом тесте на гребном эргометре у гребцов, чаще всего достоверно отличаются от одноименных результатов, полученных графическим методом оценки АП. Мы полагаем, что выявленные различия происходят из-за особенностей протокола нагрузки в тестировании у гребцов: эти спортсмены выполняли ступенчато-повышающуюся нагрузку с остановками в конце каждой ступени на 30 секунд для взятия крови на анализ концентрации лактата. При работе с остановками нарушается сам смысл использования шкалы времени, которая на протяжении непрерывной работы в тестировании эквивалентна интенсивности нагрузки. В других группах спортсменов (на других эргометрах) перерывов для взятия крови не делали.

Важный результат, полученный благодаря статистическому сравнению, состоит в том, что эргометрические и физиологические показатели АП на уровнях  $АП-V\dot{E}$ ,  $АП-ExcCO_2$ ,  $АП-t_{cr}$  значительно отличаются от показателей  $АП-La$  у всех групп спортсменов, кроме биатлонистов. При этом, у одних и тех же спортсменов, независимо от протокола нагрузки и нагрузочного устройства, на котором выполнялась работа, статистический анализ не выявил значимых различий между показателями АП, который определялся по динамике газообмена и легочной вентиляции, и показателями АП, который определялся графическим методом по динамике ЧСС.

Иными словами, графический метод адекватно может заменить способы определения АП по динамике легочной вентиляции и по динамике газообмена, но не подходит для точного определения лактатного порога. Различия между лактатным и вентиляторным порогами давно обсуждаются в литературе (Maidaniuk E., et al., 2016), и наши данные добавляют новые факты к этому сопоставлению. Вероятно, это взаимосвязанные, но не идентичные характеристики. Тем не менее, в группе биатлонистов таких различий не выявлено. Возможная причина состоит в специфике самой нагрузки на лыжероллерном тредбане, при которой одновременно работают все крупные мышцы тела.

Выявлены высокие достоверные коэффициенты парной корреляции между всеми измеренными и рассчитанными характеристиками АП, который определялся графическим способом, и характеристиками АП, который определялся по динамике  $V\dot{E}$ ,  $ExcCO_2$  и  $La$  во всех экспериментальных группах, включая гребцов. Коэффициенты корреляции колеблются в диапазоне от 0.72 до 0.99 ( $p < 0,05$ ). Наличие высоких корреляций означает, что, несмотря на отсутствие полной эквивалентности (тождественности) между графическим и лактатным порогами, результаты, получаемые графическим методом, объективно отражают параметры аэробно-анаэробного перехода.

Результаты исследования информативности определения АП графическим методом показывают, что параметры графического построения по динамике ЧСС во время работы с повышением нагрузки и в срочном восстановлении, характеризуют индивидуальные физиологические особенности работоспособности, влияющие на уровень АП и имеют прогностическое значение для его оценки.

Графический метод определения АП по динамике ЧСС во время работы с повышением нагрузки и срочным восстановлением информативен, прост, не нуждается в высококвалифицированном персонале, в использовании дорогостоящей и сложной газометрической аппаратуры или инвазивных процедурах. Точность расчета при этом не зависит от параметров протокола непрерывной нагрузки и выбора нагрузочного оборудования. Все это открывает широкие перспективы использования метода на практике в подготовке спортсменов и в фитнесе.

### Заключение

В результате проведенного нами исследования разработана линейка показателей, характеризующих физиологическое напряжение организма при выполнении циклической нагрузки. Расчет этих показателей основан на эргометрии и неинвазивных измерениях ЧСС, что позволяет использовать их непосредственно в тренировочном процессе.

Рассмотрена возможность использовать бесконтактную термографию для неинвазивного определения АНП в тесте с повышением нагрузки. Метод нуждается в доработке для преодоления проблемы колебаний корпуса испытуемого – возможно, в этом поможет контактная термометрия.

Предложен эмпирический вариант анализа пульсограммы испытуемого для определения АНП в тесте с равномерным повышением нагрузки до отказа. Метод опирается на переломные моменты в динамике ЧСС испытуемого в процессе работы и восстановления. Результаты этого теста хорошо совпадают с классическими способами определения АНП, кроме лактатного, и не зависят от используемого нагрузочного устройства и протокола нагрузки, при соблюдении условия непрерывности работы. Этот метод обеспечивает неинвазивное измерение характеристик АНП.

### Выводы

1. Разработаны пульсометрические методы оценки интенсивности физиологических затрат и структуры энергообеспечения циклических упражнений. Критерии, рассчитанные с помощью этих методов, являются информативными в диапазоне циклических нагрузок от *АЭП* до *МАМ*. Выявлены тесные взаимосвязи *УИФЗ<sub>чсс</sub>* и *АнВ<sub>чсс</sub>* с аналогичными показателями *УИФЗ<sub>О<sub>2</sub></sub>* и *АнВ<sub>О<sub>2</sub></sub>*, рассчитанными по потреблению кислорода ( $R^2 = 0,85$  и  $R^2 = 0,98$ , соответственно). Обнаружен одинаковый характер зависимости одноименных пульсометрических и газометрических показателей от мощности и предельной длительности циклической нагрузки. Предложенный пульсометрический показатель – *НЭ<sub>чсс</sub>* можно использовать для косвенной оценки выполненной физической работы в том случае, если нет возможности регистрировать потребление  $O_2$  и мощность внешней нагрузки. Показаны тесные взаимосвязи *НЭ<sub>чсс</sub>* с аналогичным показателем, рассчитанным по  $O_2$ , а также с внешней физической нагрузкой ( $R^2 = 0,97$  и  $R^2 = 0,97$ , соответственно).

2. Разработанные нами пульсометрические показатели *АнВ<sub>чсс</sub>* и *НЭ<sub>анчсс</sub>* отражают активность анаэробных процессов в энергообеспечении выполненной физической нагрузки и демонстрируют тесные взаимосвязи этих показателей соответственно со скоростью накопления лактата *САЛа* ( $R^2=0,97$ , степенная взаимосвязь) и с абсолютными величинами максимальной концентрации лактата в крови – *максЛа* ( $R^2=0,59$ , линейная взаимосвязь).

3. Разработаны пульсометрические подходы к определению дозы воздействия физической нагрузки и ее анаэробной части для циклических упражнений. Их информативность в диапазоне нагрузок от *АЭП* до *МАМ* подтверждается тесными взаимосвязями *ДН<sub>чсс</sub>* и *ДН<sub>анчсс</sub>* с аналогичными показателями, рассчитанными по потреблению кислорода ( $R^2 = 0,96$  и  $R^2 = 0,69$ , соответственно).

4. Динамика кожной температуры при выполнении инкрементного теста, зарегистрированная с помощью тепловизора, демонстрирует закономерное повышение температуры спины спортсмена после достижения порога мощности (скорости), с которого начинается экспоненциальный рост содержания лактата в крови. Однако, определение АНП по тепловизионной динамике кожной температуры обладает ограниченной точностью и не может широко применяться в тренировочной практике, поскольку выявлен большой разброс данных температуры поверхности спины вследствие колебаний тела спортсмена в процессе тестирования в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Между скоростью бега, соответствующей *АнП–Ла*, и скоростью бега, соответствующей *АнП–t°C*, выявлен средний уровень взаимосвязи ( $R^2=0,35$ ), что не позволяет осуществлять надежное прогнозирование АНП на основании данных инфракрасной термометрии.

5. Разработан оригинальный эмпирический неинвазивный графический метод определения АНП, основанный на анализе пульсограммы непрерывной работы с равномерным повышением мощности до отказа и 10 минут восстановления. В натурном эксперименте с участием 110 квалифицированных спортсменов различных видов спорта показано, что значения

эргометрических и физиологических показателей анаэробного порога, получаемых этим методом, объективно отражают параметры аэробно-анаэробного перехода. Информативность графического метода определения АП по пульсовой кривой в работе до отказа и восстановительном периоде не зависит от протокола непрерывной нагрузки и выбора нагрузочного устройства.

### Практические рекомендации

С помощью рассчитанных по предложенным алгоритмам показателей интенсивности физиологических затрат –  $УИФЗ_{чсс}$  и относительного вклада анаэробных источников –  $АнВ_{чсс}$  можно определять энергетическую направленность физических нагрузок, а также величину и направленность изменений в работоспособности у спортсмена за определенный этап подготовки, сравнивая эти показатели в стандартных упражнениях на начальном и конечном срезе применительно к каждому этапу. Снижение  $УИФЗ_{чсс}$  у спортсмена после этапа подготовки в одинаковом непредельном по времени специальном упражнении (например, пробегание неполной дистанции с желаемой соревновательной скоростью) может свидетельствовать о повышении его работоспособности. Снижение или повышение в таком упражнении показателя  $АнВ_{чсс}$  может показывать энергетическую направленность изменений в работоспособности спортсмена.

Для количественной оценки воздействия физической нагрузки в тренировочном занятии, можно использовать новые показатели: дозу воздействия нагрузки ( $ДН_{чсс}$  и  $ДНан_{чсс}$ ), а также нагрузочную экспозицию ( $НЭ_{чсс}$  и  $НЭан_{чсс}$ ). В рамках одной тренировки, при выполнении различных упражнений, их нагрузочные характеристики должны суммироваться.

Для анализа тяжести тренировки в целом необходима суммарная оценка доз нагрузки разных упражнений. Такой анализ тренировочных занятий можно использовать для распределения тренировок различной тяжести в микроцикле, а также для планирования тренировочной нагрузки в микро- и макроциклах подготовки, и сопоставления объемов тренировочной работы с результативностью спортсмена.

Если у спортсменов нет возможности периодически проходить тестирование для оценки АП в специальной лаборатории, то рекомендуется применять предложенный нами графический метод расчета АП. Метод можно использовать в тестировании на любых тренажерных устройствах, на которых установлены датчики скорости/мощности, либо в полевых протоколах, в которых скорость повышается ступенчато и может рассчитываться по параметрам времени и расстояния.

Все эти методические приёмы направлены на усовершенствование информационного обеспечения тренера при анализе функционального состояния спортсменов.

### Список работ, опубликованных по теме диссертации:

#### Статьи в журналах, рекомендованных ВАК для опубликования материалов диссертаций

1. Якушкин, А.В., Акимов, Е.Б., Андреев, Р.С., Каленов, Ю.Н., **Козлов, А.В.**, Кузнецова, О.В., Сонькин, В.Д. Влияние беговой тренировки на работоспособность, аэробную производительность и реакцию организма на острое холодовое воздействие // Физиология человека. – 2014. – Т. 40, № 4. – С. 78.
2. Сонькин В.Д., Якушкин, А.В., Акимов, Е.Б., Андреев, Р.С., Каленов, Ю.Н., **Козлов, А.В.** Физиологический анализ перекрестной адаптации к холодовым воздействиям и физическим нагрузкам // Физиология человека. – 2014. – Т. 40, № 6. – С. 98.
3. **Козлов, А.В.**, Сонькин В.Д., Якушкин А.В.. Метод исследования активности подкожных термогенных структур при действии стимулов разной модальности // Физиология человека. – 2017. – Т. 43, № 6. – С. 124-134.
4. Бондарева, Э.А., Парфентьева О.И., **Козлов, А.В.**, Журавлева, Ю.С., Косякова, Е.В., Карелина, Е.Э., Кетлерова, Е.С., Сонькин, В.Д. Полиморфизм гена UCP2 реципрокно ассоциирован с аэробной и анаэробной производительностью у спортсменов // Физиология человека. – 2018. – Т. 44, № 6. – С. 79-85.
5. **Козлов, А.В.**, Якушкин, А.В., Андреев, Р.С., Ваваев, А.В., Юриков, Р.В., Сонькин, В.Д. Метод определения анаэробного порога по динамике ЧСС в процессе работы и восстановления при выполнении теста нарастающей мощности до отказа // Физиология человека. – 2019. – Т. 45, № 2. – С. 78-86.
6. **Козлов, А.В.** Сонькин, В.Д. Инфракрасная тепловизионная диагностика подкожных термогенераторов несократительного теплообразования // Физиология человека. – 2019. – Т. 45, № 6. – С. 86-102.
7. **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.
8. Васильева, Р.М., Парфентьева, О.И., Орлова, Н.И., **Козлов, А.В.**, Сонькин, В.Д. Реакции пульса на дозированную физическую нагрузку у детей дошкольного возраста // Физиология человека. – 2022. – Т. 48, № 6. – С. 89-99.
9. **Козлов, А.В.**, Блеер, А.Н., Левушкин, С.П., Сонькин, В.Д. Взаимосвязь интенсивности накопления пульсового долга со скоростью образования кислородного запроса и накопления лактата в крови при выполнении предельных циклических упражнений различной продолжительности // Спортивная медицина: наука и практика. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 43-50.

#### Труды всероссийских и международных конференций

1. Son'kin, V.D., Akimov, E.B., Andreev, R.S., Yakushkin, A.V., **Kozlov, A.V.** Brown adipose tissue participate in lactate utilization during muscular work // International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support. – SCITEPRESS, 2014. – Т. 2. – С. 97-102.
2. Son'kin, V.D, Akimov E.B, Andreev R.S, Yakushkin A.V, Parfenteva OI, **Kozlov, A.V.** Participation of brown adipose tissue in lactate utilization during muscle work // In: Beige and Brown fat: Basic Biology and Novel Therapeutics – Keystone symposia on molecular and cellular biology. - Snowbird, Uta, 2015. – С. 17-22.
3. Акимов, Е.Б., **Козлов, А.В.**, Сонькин, В.Д., Парфентьева, О.И., Якушкин, А.В. Взаимосвязь термопортрета спины, груди и шеи с физическим состоянием человека // Материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции «Актуальные проблемы биохимии и биоэнергетики спорта XXI века», – Москва: РГУФКСМиТ, 2016. – С. 331-333.
4. **Козлов, А.В.**, Сонькин, В.Д., Якушкин, А.В. Метод исследования активности подкожных термогенных структур при действии стимулов разной модальности // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции по вопросам спортивной науки в детско-юношеском и адаптивном спорте. – Москва: Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд Москомспорта, 2017. – С. 61-62.

5. **Козлов, А.В.**, Сонькин, В.Д., Якушкин, А.В., Торкаев, С.П. Метод исследования активности подкожных термогенных структур при действии стимулов разной модальности. // Материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции с международным участием «Актуальные проблемы биохимии и биоэнергетики спорта XXI века». 2017. С. 184-202.

6. **Козлов, А.В.**, Сонькин, В.Д. Удельная интенсивность физиологических затрат и структура энергообеспечения циклической работы различной интенсивности // Новые подходы к изучению проблем физиологии экстремальных состояний : материалы X Всероссийской с международным участием школы-конференции по физиологии мышц и мышечной деятельности, посвященной памяти Инесы Бенедиктовны Козловской и приуроченной к году науки и технологий. – Москва: Институт медико-биологических проблем РАН, 2021. – С. 149.

7. **Козлов, А.В.**, Розенталь, М.Г., Сонькин, В.Д. Взаимосвязь интенсивности накопления пульсового долга со скоростью накопления лактата в крови при выполнении предельных циклических упражнений различной продолжительности // В книге: Motor control 2022. Сборник тезисов IX Российской, с международным участием, конференции по управлению движением, посвященной 95-летию со дня рождения И. Б. Козловской. – Казань. 2022. – С. 135.

8. **Козлов, А.В.**, Аньшаков, В.Д. 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: ООО "Издательство ВВМ", 2023. – С. 540.

9. **Козлов, А.В.**, Аньшаков, В.Д. Сонькин, В.Д. Пульсометрический показатель структуры энергообеспечения циклической работы различной интенсивности // В книге: Актуальные медико-биологические проблемы спорта и физической культуры: сборник материалов Международной научно-практической конференции (27-28 февраля 2024 года). – Часть 1 / под общей ред. Горбачевой В.В., Борисенко Е.Г. – Волгоград: ФГБОУ ВО «ВГАФК», 2024 – С. 256.

10. **Козлов, А.В.**, Ваваев, А.В., Аньшаков, В.Д. Сонькин, В.Д. Верификация графического метода расчета анаэробного порога по динамике ЧСС в работе и восстановительном периоде // материалы XI Всероссийской с международным участием школы-конференции по физиологии мышц и мышечной деятельности, посвященной 70-летию открытия механизма мышечного сокращения. – Москва: ГНЦ РФ – ИМБП РАН, 2024г. – С. 188.

### **Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ**

Голов, А.В., Тимме, Е.А., **Козлов, А.В.** Программа расчета аэробного и анаэробного порогов спортсменов по данным нагрузочного тестирования Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018612923, 01.03.2018. Заявка № 2017662275 от 28.11.2017

### **Монография**

Скелетные мышцы и физическая работоспособность человека. Монография / А. А. Мельников, В. Д. Сонькин, Е. В. Фомина, **А. В. Козлов.** – Москва: РУС «ГЦОЛИФК», 2023. – 260 с. – ISBN 978-5-00166-963-0.

**Список использованных сокращений и условных обозначений:**

- АнП* – анаэробный порог;  
*АнП-ЕхсСО<sub>2</sub>* – анаэробный порог, установленный по неметаболическому излишку СО<sub>2</sub>  
*АнП-La* – анаэробный порог, установленный по динамике концентрации лактата в крови;  
*АнП-t°C* – анаэробный порог, установленный по динамике температуры кожи;  
*АнП-t<sub>cr</sub>* – анаэробный порог, установленный графическим методом;  
*АнП-V E* – анаэробный порог, установленный по динамике легочной вентиляции  
*АнП-M* – анаэробный порог, установленный с помощью эргометрической модели;  
*АнВ<sub>О<sub>2</sub></sub>* – вклад анаэробных процессов (%) в энергообеспечении работы, рассчитанный по О<sub>2</sub>;  
*АнВ<sub>чсс</sub>* – вклад анаэробных процессов (%) в энергообеспечение работы, рассчитанный по ЧСС;  
*АэП* – аэробный порог;  
*ВН* – объем выполненной внешней физической нагрузки в упражнении (кДж/кг);  
*ДН<sub>О<sub>2</sub></sub>* – доза воздействия физической нагрузки, рассчитанная по потреблению О<sub>2</sub> (кДж/кг);  
*ДН<sub>чсс</sub>* – доза воздействия физической нагрузки рассчитанная по динамике ЧСС (кДж/кг);  
*ДН<sub>анО<sub>2</sub></sub>* – анаэробная часть дозы нагрузки, рассчитанная по потреблению О<sub>2</sub> (кДж/кг);  
*ДН<sub>анчсс</sub>* – анаэробная часть дозы нагрузки, рассчитанная по динамике ЧСС (кДж/кг);  
*ДК* – дыхательный коэффициент (у.е.);  
*ИНПД* – интенсивность накопления пульсового долга (уд/с);  
*ИУ<sub>О<sub>2</sub></sub>* – исходный уровень потребления О<sub>2</sub> в состоянии относительного покоя перед стартом (л/мин);  
*ИУ<sub>чсс</sub>* – исходный уровень ЧСС в состоянии относительного покоя перед стартом (уд/мин);  
*КЗ* – кислородный запрос упражнения (л);  
*КП* – кислородный приход (л);  
*КД* – кислородный долг (л);  
*МАМ* – максимальная анаэробная мощность (Вт);
- 
- МПК<sub>абс</sub>* – максимальное потребление кислорода (л/мин);  
*МПК<sub>отн</sub>* – относительное максимальное потребление кислорода (мл/мин/кг);  
*НЭ<sub>О<sub>2</sub></sub>* – нагрузочная экспозиция в упражнении, рассчитанная по потреблению О<sub>2</sub> (мин);  
*НЭ<sub>чсс</sub>* – нагрузочная экспозиция в упражнении, рассчитанная по ЧСС (мин);  
*НЭ<sub>анО<sub>2</sub></sub>* – анаэробная часть нагрузочной экспозиции в упражнении, рассчитанная по О<sub>2</sub> (мин);  
*НЭ<sub>анчсс</sub>* – анаэробная часть нагрузочной экспозиции в упражнении, рассчитанная по ЧСС (мин);  
*максЛа* – максимальная концентрация лактата в крови (ммоль/л);  
*ПЗ* – пульсовой запрос (уд);  
*ПП* – пульсовой приход (уд);  
*ПД* – пульсовой долг (уд);  
*СОПЗ* – скорость образования пульсового запроса упражнения (уд/мин),  
*СОКЗ* – скорость образования кислородного запроса (л/мин);  
*СЛЛа* – скорость накопления лактата (ммоль/л/мин);  
*УИФЗ<sub>О<sub>2</sub></sub>* – удельная интенсивность физиологических затрат, рассчитанная по О<sub>2</sub> (у.е.);  
*УИФЗ<sub>чсс</sub>* – удельная интенсивность физиологических затрат, рассчитанная по ЧСС (у.е.);  
*ЧСС<sub>отк</sub>* – частота сердечных сокращений, в момент отказа от продолжения работы (уд/мин);  
*ЕхсСО<sub>2</sub>* – скорость выделения неметаболического излишка углекислого газа (л/мин);  
*La* – концентрация лактата в крови (ммоль/л);
- 
- m* – масса тела (кг);  
*t<sub>упр</sub>* – время работы в упражнении (мин);  
*V<sub>max</sub>* – максимальная скорость (км/ч);  
*V<sub>О<sub>2</sub></sub>* – скорость потребления кислорода (л/мин);  
*V<sub>СО<sub>2</sub></sub>* – скорость выделения углекислого газа (л/мин);  
*V E* – скорость легочной вентиляции (л/мин);  
*W<sub>max</sub>* – максимальная мощность, достигнутая в тесте (Вт);  
*W<sub>ср</sub>* – средняя мощность, достигнутая в тесте (Вт).