

На правах рукописи



**БУШМАНОВА ЕКАТЕРИНА АНДРЕЕВНА**

**ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ И ЭНЕРГОТРАТЫ В ПОКОЕ И ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ  
НАГРУЗКЕ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ  
У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ**

1.5.5. – Физиология человека и животных

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Сыктывкар 2025

Работа выполнена в Институте физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Научный руководитель: **Людинина Александра Юрьевна**,  
кандидат биологических наук.

Официальные оппоненты: **Филатова Ольга Викторовна**,  
доктор биологических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный университет» (ФГБОУ ВО «АлтГУ»), профессор кафедры зоологии и физиологии Института биологии и биотехнологии ФГБОУ ВО «АлтГУ» (г. Барнаул);

**Денисова Наталья Николаевна**,  
кандидат медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи (ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»), старший научный сотрудник Лаборатории демографии и эпидемиологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (г. Москва).

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ ЯНЦ СО РАН), г. Якутск.

Защита диссертации состоится «15» октября 2025 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 004.038.01 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» по адресу 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, д. 50, [olga-parshukova@mail.ru](mailto:olga-parshukova@mail.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» по адресу 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24 и на сайте <http://www.physiol.komisc.ru/>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, к.б.н.

2



Паршукова О.И.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Рациональное питание – важнейший фактор повышения физической работоспособности и выносливости высококвалифицированных спортсменов (Vitale, Getzin, 2019; Kerksick et al., 2019; Malsagova et al., 2021). Вторым по значимости фактором в построении эффективного тренировочного процесса и прогнозе результативности является учет компонентов суточных энергозатрат, тесно связанных с особенностями питания и физической нагрузкой (Heydenreich et al., 2017; Wasserfurth et al., 2020). Незначительные отклонения от оптимального питания и несоответствие энергопотребления (ЭП) суточному расходу энергии в долгосрочной перспективе могут привести к неконтролируемым изменениям компонентного состава тела (Thomas et al., 2016) и отрицательному энергетическому балансу (Burke et al., 2018; Siedler et al., 2023). Хронический отрицательный энергетический баланс в сочетании с длительными и интенсивными физическими нагрузками может вызвать состояние низкой доступности энергии (Mountjoy et al., 2018; Areta et al., 2021) и синдром относительного дефицита энергии в спорте (Mountjoy et al., 2018). Поскольку спортсмены и тренеры недостаточно осведомлены о потенциальных негативных последствиях отрицательного энергетического баланса и низкой доступности энергии для здоровья и физической работоспособности (Brunet et al., 2019), изучение проблемы неоптимального питания, сочетанного со структурой энергозатрат и последующим развитием относительного энергодефицита у высококвалифицированных спортсменов, является крайне актуальным.

**Степень разработанности темы исследования.** Обзор литературы выявил недостаточность данных о компонентном составе тела лыжников-гонщиков (Larsson, Henriksson-Larsen, 2008; Grzebisz, 2020). Энергозатраты (Jagim et al., 2018; MacKenzie-Shalders et al., 2020) и ЭП (Carr et al., 2018; Людина и др., 2020; Heikura et al., 2021; Kettunen et al., 2023) у спортсменов изучены достаточно хорошо, при этом исследования энергетического баланса именно у лыжников-гонщиков практически отсутствуют, ограничиваясь работами по подготовительному периоду (Sjodin et al., 1994; Boulay et al., 1994) или реже годовому циклу (Papadopoulou et al., 2012). Существенным пробелом является отсутствие информации о структуре энергозатрат, вкладе энергетических субстратов в энергозатраты покоя (ЭТП) и при физической нагрузке разной интенсивности, а также данных о доступности энергии у высококвалифицированных лыжников-гонщиков.

**Цель исследования.** Изучить структуру энергозатрат в покое и при физической нагрузке максимальной и субмаксимальной интенсивности во взаимосвязи с энергопотреблением у лыжников-гонщиков.

### **Задачи исследования:**

1. Выявить различия в параметрах компонентного состава тела между высококвалифицированными лыжниками-гонщиками и молодыми людьми, не занимающимися спортом и их связь с энергозатратами покоя.
2. Сопоставить расчетные значения основного обмена с величиной энергозатрат покоя, измеренной методом непрямой калориметрии, у

высококвалифицированных лыжников-гонщиков и молодых людей, не занимающихся спортом.

3. Оценить энергопотребление у высококвалифицированных лыжников-гонщиков в подготовительный и соревновательный периоды годичного цикла методом 24-часового воспроизведения рациона питания.

4. Исследовать вклад жиров и углеводов в структуру энергозатрат в покое и при физической нагрузке субмаксимальной и максимальной мощностях у лыжников-гонщиков.

5. Рассчитать показатель доступности энергии и выявить соответствие энергопотребления суточным энергозатратам у высококвалифицированных лыжников-гонщиков в подготовительный и соревновательный периоды годичного цикла.

**Научная новизна исследования.** Впервые проведена комплексная оценка фактического питания и суточных энергозатрат у высококвалифицированных лыжников-гонщиков в подготовительный и соревновательный периоды годичного цикла с анализом вклада углеводов и жиров в структуру энергопотребления и энергозатрат.

Впервые показано, что маркером высокой физической работоспособности в зимних циклических видах спорта является соотношение жиров и углеводов, приближенное к 1:1, в структуре энергозатрат покоя и при физической нагрузке субмаксимальной интенсивности у спортсменов.

Получены новые данные о том, что сниженный уровень потребления углеводов в рационе питания и возрастание их вклада в энергообеспечение субмаксимальной и максимальной физической нагрузки лимитирует физическую работоспособность в анаэробной зоне у лыжников-гонщиков.

Впервые проведена оценка относительных энергодефицитов у высококвалифицированных лыжников-гонщиков в годичном цикле (подготовительный и соревновательный периоды) и выявлена низкая доступность энергии, ассоциированная со сниженной энергетической ценностью рационов и недостаточным потреблением углеводного компонента питания в подготовительный период.

**Теоретическая и практическая значимость.** Полученные результаты углубляют представления о структуре суточных энергозатрат, их связи с компонентным составом тела и энергопотреблением у высококвалифицированных лыжников-гонщиков, что может быть использовано для оптимизации рациона питания в тренировочном процессе спортсменов циклических видов спорта.

Разработан новый способ оценки энергозатрат и вклада макронутриентов в физическую работоспособность в тесте «до отказа» на системе «Oxycan Pro» (Свидетельство ГР программы для ЭВМ № 2022614375 от 21.03.2022).

**Легитимность исследования.** Дизайн исследования одобрен независимым локальным комитетом по биоэтике (протокол от 28.12.2022) Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального

исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

**Методология и методы исследования.** Работа выполнена с использованием современных лабораторных, инструментальных, аналитических и статистических методов.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Соотношение жиров и углеводов, приближенное к 1:1, в структуре энерготрат покоя и при субмаксимальной физической нагрузке у высококвалифицированных лыжников-гонщиков является информативным маркером физической работоспособности. Увеличение вклада углеводов в энергообеспечение субмаксимальной физической нагрузки по сравнению с их фоновым уровнем лимитирует физическую работоспособность спортсменов в анаэробной зоне.

2. В дни интенсивных физических нагрузок подготовительного периода у 85% спортсменов выявлено нарушение энергетического баланса на фоне низкой доступности энергии, которая ассоциирована со сниженной энергетической ценностью рационов питания и недостаточным потреблением углеводного компонента в отличие от соревновательного периода годового цикла.

3. Уравнение Харриса-Бенедикта обеспечивает более точную прогностическую оценку основного обмена по сравнению с формулой Кетч-МакАрдила, при этом занижение энерготрат покоя составляет 13% у высококвалифицированных лыжников-гонщиков и 4% у молодых людей, не занимающихся спортом.

**Степень достоверности и апробация работы.** Достоверность результатов исследования подтверждена объемом собранного фактического материала, совпадением значений показателей с имеющимися данными литературы, использованием современных методов статистического анализа данных. Результаты работы представлены на 20 Всероссийских и Международных научных мероприятиях. Некоторые из них: VIII Всероссийская конференция с международным участием «Медико-физиологические проблемы экологии человека» (г. Ульяновск, 2021); IV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Медико-физиологические основы спортивной деятельности на Севере» (г. Сыктывкар, 2021); XVII Международная научная конференция по вопросам состояния и перспективам развития медицины в спорте высших достижений «СпортМед-2022» (г. Москва, 2022); XI Международный Конгресс «СПОРТ, ЧЕЛОВЕК, ЗДОРОВЬЕ» (г. Санкт-Петербург, 2023); Академический форум молодых ученых стран Большой Евразии «Континент науки-2023» (г. Москва, 2023); II Международная научно-практическая конференция, посвященная 10-летию науки и технологии в РФ «Гигиенические аспекты восстановления в физкультурно-спортивной деятельности» (г. Челябинск, 2024).

**Внедрение.** На основе полученных результатов проводится коррекция рационов питания и оптимизация тренировочного процесса спортсменов – членов сборных команд Республики Коми по лыжным гонкам ГАУ Республики Коми

«ЦСПСК (акт внедрения от 27.06.2022 г.). Методы исследования, используемые в работе, внедрены в программу обучения учащихся 9-10 классов общеобразовательных организаций Республики Коми (акт внедрения от 29.06.2022 г.) и студентов 3 курса отделения 49.02.01 Физическая культура ГПОУ «СПК им. И.А. Куратова» (акт внедрения от 23.05.2022 г.).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 125 страницах машинописного текста и представлена введением, четырьмя главами, выводами, практическими рекомендациями, списком использованных источников. Библиография включает 252 источника, из них 197 зарубежных. Работа содержит в себе 12 рисунков и 16 таблиц.

**Личное участие автора в получении результатов.** Автором были определены цель и задачи исследования, освоены методы. Проведено исследование, составлены базы данных, выполнен статистический анализ данных. При непосредственном участии автора были написаны тексты научных публикаций. Автором написаны диссертация и автореферат.

По материалам диссертации опубликовано 22 научные работы, из них семь статей включены в перечень ВАК и/или наукометрические базы WOS, Scopus, PubMed, RSCI и получено одно авторское свидетельство.

**Соответствие паспорту научной специальности.** Диссертация соответствует следующим областям паспорта специальности 1.5.5. – Физиология человека и животных: п.1. «Закономерности и механизмы поддержания постоянства внутренней среды организма», п.12. «Разработка новых методов исследований функций ... человека», п.14. «Физиологические основы здоровья, здорового образа жизни...».

## **ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

Первая глава диссертации является анализом литературы по рассматриваемой проблеме и состоит из трех разделов, в которых представлены основные сведения о механизмах энергетической адаптации человека к природным факторам Севера. Описана структура суточных энергозатрат, современные подходы к оценке энергозатрат и ЭП у спортсменов, представлены сведения о концепциях энергетического баланса и относительного дефицита энергии в спорте.

## **МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В качестве объектов исследования были взяты две группы мужского пола. Экспериментальная группа – действующие лыжники-гонщики (n=136), члены сборной команды Республики Коми, часть из которых входит в сборную России. Спортивная квалификация спортсменов – мастера спорта международного класса (4%), мастера спорта (42%), кандидаты в мастера спорта (25%) и перворазрядники (29%). Контрольная группа – практически здоровые студенты ВУЗа ФГБОУ ВО «СГУ им. П. Сорокина» (n=40). Всеми лицами, участвующими в обследовании, были подписаны информированные согласия на участие. Данные собраны в период с 2020 по 2023 год.

Дизайн исследования включал в себя три основных блока.

Блок I: из контрольной группы были отобраны физически активные юноши ( $n=10$ , возраст  $20\pm 2$  лет, длина тела  $178\pm 8$  см, масса тела  $74\pm 18$  кг), среди которых проведено исследование влияния пищевого термогенеза стандартизированного углеводного завтрака на ЭТП (май). Блок II: был осуществлен биоимпедансный анализ для установления различий в компонентном составе тела между экспериментальной ( $n=30$ ) и контрольной ( $n=40$ ) группами (май, июнь). В подготовительный период (май, июнь, июль) среди экспериментальной группы ( $n=30$ ) была выявлена разница между ЭТП и величиной основного обмена (ВОО). Из экспериментальной группы взяты только высококвалифицированные (блок II и III, этап 3.1) лыжники-гонщики со спортивной квалификацией: мастера спорта международного класса (10%), мастера спорта (30%), кандидаты в мастера спорта (60%).

Блок III был разделен на два этапа.

3.1. Из экспериментальной группы (блок II) были отобраны высококвалифицированные спортсмены, проходившие тестирование как в подготовительный период (июнь, июль), так и в соревновательный период (март). Среди этих лыжников-гонщиков ( $n=27$ ) проведена оценка ЭТП, выявлено соответствие ЭП суточным энергозатратам, определены энергозатраты при максимальной физической нагрузке, вклад основных энергетических субстратов в структуру энергозатрат и доступность энергии в оба периода годового цикла.

3.2. Проведен ретроспективный анализ данных подготовительного периода (июнь-сентябрь) среди лыжников-гонщиков ( $n=136$ ). Обследуемые были сформированы в две группы по факту прохождения тестирования: группа I ( $n=28$ ) – спортсмены, которые завершили тест на уровне порога анаэробного обмена (ПАНО), группа II ( $n=108$ ) – спортсмены, которые выполнили тест «до отказа» и перешли уровень ПАНО. Для корректного сравнения полученных результатов среди групп в исследование включены данные только при субмаксимальной физической нагрузке.

**Антропометрия и биоимпедансометрия.** Рост (погрешность  $\pm 1$  см) и массу тела (погрешность  $\pm 0.2$  кг) определяли с помощью медицинского весоростомера (Россия), процент жировой массы тела (%ЖМТ) при помощи прибора BF302 Omron (Япония) (блок III) (погрешность  $\pm 3-8\%$ ). Антропометрию, включая многочастотный сегментарный анализ КСТ определяли с помощью анализатора состава тела ACCUNIQ BC380 (Южная Корея) (погрешность  $\pm 1-3\%$ ) (блок I, II). Статистически значимых различий между антропометрическими значениями, полученными при помощи медицинского весоростомера, и аналогичными значениями, полученными анализатором ACCUNIQ BC380, а также между показателями %ЖМТ, полученными при помощи прибора BF302 Omron и анализатора ACCUNIQ BC380, выявлено не было.

**Энерготраты покоя.** Исследование ЭТП проводили методом непрямой калориметрии с помощью эргоспирометрической системы «Oxycan Pro» (Jaeger, Германия) в положении лежа.

**Величина основного обмена.** Значения ВОО были рассчитаны по уравнению Харриса-Бенедикта для мужчин (Jagim et al., 2018) и по формуле Кетч-МакАрдила (Справочник..., 2017).

**Велоэргометрическое тестирование.** Спортсмены выполнили тест «до отказа» со ступенчато увеличивающейся нагрузкой на велоэргометре с помощью эргоспирометрической системы «Охусон Про» (Jaeger, Германия) в режиме «breath by breath» с усреднением показателей по 15-ти секундным отрезкам. У спортсменов в покое сидя и во время теста определяли: энергозатраты, частоту сердечных сокращений (ЧСС), потребление кислорода (ПК), Ватт-Пульс уровень ПАНО, мощность нагрузки при ЧСС 170 уд/мин, максимальное потребление кислорода (МПК) и дыхательный коэффициент (ДК).

**Вклад макронутриентов в энергозатраты.** Процентный вклад макронутриентов в ЭТП рассчитывался по уравнению (McGilvery, Goldstein, 1983). Абсолютный расход макронутриентов в покое и при субмаксимальной и максимальной физических нагрузках за велоэргометрическое тестирование производился с помощью разработанной нами оригинальной программы (Свидетельство ГР программы для ЭВМ № 2022613491 от 21.03.2022).

**Суточные энергозатраты.** Расчет суточных энергозатрат проводился с учетом коэффициента физической активности по уравнению (Shetty, 2005), где коэффициент соответствовал рекомендациям ВОЗ для взрослых высококвалифицированных спортсменов, тренирующих выносливость (Shetty, 2005).

**Энергопотребление.** Полученные в ходе опроса данные по фактическому питанию анализировали с помощью специально разработанной компьютерной программы «Спорт: расчет и анализ рациона» (Свидетельство ГР программы для ЭВМ № 2014619853 от 23.09.2014).

**Энергетический баланс.** Расчетная величина энергетического баланса оценивалась по уравнению (Loucks et al., 2011).

**Доступность энергии.** Расход энергии при физической нагрузке оценивался с помощью пульсометрии (Polar Electro, Финляндия). Доступность энергии оценивали по формуле (Mountjoy et al., 2018).

**Пищевой термогенез.** После проведенного натошак измерения ЭТП испытуемым предлагался стандартизированный углеводный завтрак, калорийность которого была 300 ккал на порцию. Химический состав тестового завтрака составил (% от калорийности): белки – 8, жиры – 1; углеводы – 91. Термогенез тестового завтрака рассчитывали, как разницу между постпрандиальным обменом и ЭТП натошак.

**Статистические методы исследования.** Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью пакета прикладных программ Statistica (версия 12.6, StatSoftInc, 2015). Нормальность распределения проверяли критерием Шапиро-Уилка для выборок малого объема ( $n < 50$ ), критерием Колмогорова-Смирнова для выборок большого объема ( $n > 50$ ). Для обеспечения сопоставимости с другими исследованиями, было использовано среднее (M) и

стандартное отклонение (SD) для описания выборочной совокупности. Значимость различий между показателями оценивали с помощью непараметрических критериев Уилкоксона (между двумя зависимыми выборками), U-критерия Манна-Уитни (между двумя независимыми выборками) и критерия согласия Пирсона ( $\chi^2$ ). Для оценки влияния роста на параметры компонентного состава тела был использован ковариационный анализ. Корреляционный анализ проводили по Спирмену. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Блок I. Пищевой термогенез и энергозатраты покоя.** В рамках протокола (от 01.11.2013) тестирования на эргоспирометрической системе «Oxycan Pro» (Jaeger, Вюрцбург, Германия) (последовательные измерения ЭТП и энергозатрат при физической нагрузке) спортсмены получают стандартизированный углеводный завтрак. В связи с этим, возник вопрос, влияет ли данная пищевая нагрузка на ЭТП. Проведенное обследование физически активной части контрольной группы показало, что пищевой термогенез тестового завтрака составил 36 ккал, что увеличило ЭТП (1887 ккал/сут) на 2% по сравнению с исходным уровнем (1851 ккал/сут). Пищевая нагрузка (300 ккал) с высоким содержанием углеводов (91%) не оказала значимого влияния на ЭТП ( $p=0.332$ ). Таким образом, при обследовании людей, в т. ч. спортсменов, допустимо измерять ЭТП после углеводного завтрака, калорийность которого не превышает 300 ккал.

**Блок II. Компонентный состав тела и энергозатраты покоя у экспериментальной и контрольной групп.** По результатам антропометрического обследования (табл. 1) группы значимо отличались между собой только по росту ( $p=0.029$ ).

Таблица 1 – Антропометрическая характеристика обследуемых групп

| Показатели             | Экспериментальная группа<br>(n=30) | Контрольная группа<br>(n=40) |
|------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Возраст, лет           | 22.3±2.7                           | 20.2±2.4                     |
| Рост, см               | 180.7±6.6                          | 177.0±6.5*                   |
| Масса тела, кг         | 75.4±8.5                           | 71.0±14.9                    |
| ИМТ, кг/м <sup>2</sup> | 23.0±1.9                           | 22.5±3.8                     |

*Примечание: \* – статистически значимые различия между группами  $p < 0.05$  (U-критерий Манна-Уитни). ИМТ – индекс массы тела.*

Все параметры компонентного состава тела у спортсменов (табл.2) были статистически значимо выше, чем у лиц из контрольной группы, за исключением %ЖМТ, что можно объяснить спецификой спортивной деятельности лыжников-гонщиков.

Не было выявлено статистически значимых различий по соотношению внеклеточной воды к общей воде организма, с помощью которого оценивают статус гидратации, что, вероятно, связано с физически активным образом жизни большей

части контрольной группы (75%) на момент проведения обследования. Проведенный ковариационный анализ подтвердил, что после учета влияния роста, различия в параметрах компонентного состава тела остались статистически значимыми ( $p < 0.05$ ).

Таблица 2 – Компонентный состав тела у обследуемых групп

| Показатели                                 | Экспериментальная группа<br>(n=30) | Контрольная группа<br>(n=40) |
|--|------------------------------------|------------------------------|
| Общая вода организма, л                    | 47.5±4.7                           | 42.0±6.2***                  |
| Доля общей воды организма от массы тела, % | 63.2±2.7                           | 60.0±5.2**                   |
| ВнекВ/ОВО                                  | 0.372±0.004                        | 0.374±0.005                  |
| ЖМТ, %                                     | 13.7±3.8                           | 18.2±7.0***                  |
| БМТ, кг                                    | 64.9±6.5                           | 57.1±8.5***                  |
| СММ, кг                                    | 36.2±3.6                           | 32.0±4.8***                  |
| АКМ, кг                                    | 42.7±4.2                           | 37.6±5.6***                  |
| АКМ, % от массы тела                       | 56.8±2.5                           | 53.7±4.6**                   |

Примечание: \*\*\* – статистически значимые различия между группами  $p < 0.001$ , \*\* –  $p < 0.01$  (U-критерий Манна-Уитни). ВнекВ/ОВО – соотношение внеклеточной воды к общей воде организма (индекс гидратации), ЖМТ – жировая масса тела, БМТ – безжировая масса тела, СММ – скелетно-мышечная масса, АКМ – активная клеточная масса.

Показатель ЭТП в экспериментальной группе (2135 ккал/сут) был больше на 16% ( $p < 0.001$ ) по сравнению с контрольной группой (1840 ккал/сут) (рис. 1).

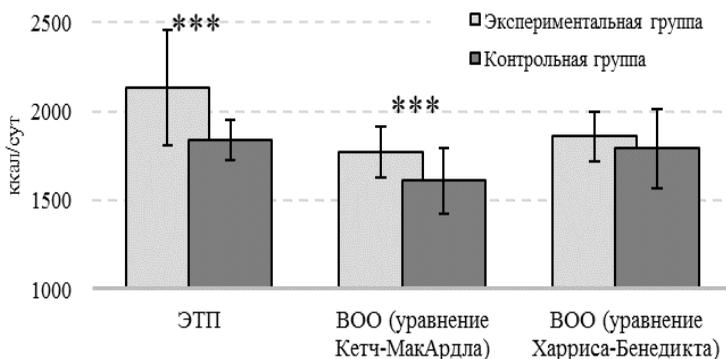


Рисунок 1 – Значения энерготрат покоя и расчетной величины основного обмена у экспериментальной и контрольной групп.

Примечание: \*\*\* – статистически значимые различия между группами  $p < 0.001$  (U-критерий Манна-Уитни). ЭТП – энерготраты покоя, ВОО – величина основного обмена.

В обеих группах ВОО, рассчитанная по уравнению Кетч-МакАрдла, оказалась ниже ЭТП (на 16% и 13% в экспериментальной и контрольной группах соответственно), вероятно, из-за более высокой СММ в экспериментальной группе. Расчет ВОО по уравнению Харриса-Бенедикта также показал заниженные значения относительно ЭТП (на 13% и 4% в экспериментальной и контрольной группах соответственно), что согласуется с результатами другого обследования (Людинина и др., 2022), при этом достоверных различий между группами не выявлено из-за нивелирующего влияния весо-возрастных параметров. Поскольку спортсмены обследовались вскоре после умеренной аэробной тренировки, а влияние углеводного завтрака было минимальным (Бушманова и др., 2023), разницу в 13% по уравнению Харриса-Бенедикта мы связываем с многолетним спортивным стажем.

Энерготраты зависят от метаболически активных тканей и органов (СММ, мозг, печень, почки, сердце), а также, в меньшей степени, от жировой массы тела (Соколов и др., 2012). Корреляционный анализ выявил сильную прямую связь ( $r_s > 0.52$ ) между удельными ЭТП и всеми абсолютными показателями биоимпедансного анализа, кроме жировой массы тела (табл. 3).

Таблица 3 – Зависимость удельных энерготрат покоя от параметров компонентного состава тела у обследуемых групп

| Параметр                       | Экспериментальная группа (n=30) |         | Контрольная группа (n=40) |         |
|--------------------------------|---------------------------------|---------|---------------------------|---------|
|                                | rs                              | p-level | rs                        | p-level |
| <b>От ЭТП на кг массы тела</b> |                                 |         |                           |         |
| БМТ, кг                        | 0.89                            | <0.001  | 0.86                      | <0.001  |
| СММ, кг                        | 0.72                            | <0.001  | 0.57                      | <0.001  |
| АКМ, кг                        | 0.69                            | <0.001  | 0.52                      | <0.001  |
| Общая вода организма, л        | 0.72                            | <0.001  | 0.56                      | <0.001  |
| ЖМТ, кг                        | 0.41                            | <0.001  | 0.39                      | <0.001  |

*Примечание: rs – коэффициент ранговой корреляции Спирмена. ЭТП – энерготраты покоя, БМТ – безжировая масса тела, СММ – скелетно-мышечная масса, АКМ – активная клеточная масса, ЖМТ – жировая масса тела.*

**Блок III, этап 3.1. Энергетический баланс среди экспериментальной группы в разные периоды годового цикла.** В подготовительный период величина ЭТП составила 2111 ккал/сут. К соревновательному периоду ЭТП снизилась до 1892 ккал/сут ( $p=0.065$ ). Это снижение, вероятно, связано с изменениями в компонентном составе тела, обусловленными адаптацией к физическим нагрузкам, что подтверждается наличием прямой корреляционной связи между ЭТП и %ЖМТ ( $r_s=0.60$ ;  $p<0.001$ ) и безжировой массой тела (БМТ) ( $r_s=0.51$ ;  $p<0.01$ ) в соревновательный период.

К соревновательному периоду у лыжников-гонщиков статистически значимо снижается %ЖМТ и увеличивается МПК (табл. 4).

Таблица 4 – Антропометрические и физиологические характеристики экспериментальной группы в подготовительный и соревновательный периоды годичного цикла

| Показатель             | Экспериментальная группа в подготовительный период (n=27) | Экспериментальная группа в соревновательный период (n=27) |
|------------------------|---|---|
| Возраст, лет           | 21.1±3.9  | 21.1±4.0  |
| Рост, см               | 178.3±5.7   | 178.4±5.3   |
| Масса тела, кг         | 73.3±4.3  | 70.1±4.8  |
| ИМТ, кг/м <sup>2</sup> | 22.4±1.3  | 22.0±1.4  |
| ЖМТ, %                 | 10.7±3.3  | 8.9±2.9*  |
| БМТ, кг                | 65.7±9.9  | 63.7±4.2  |
| МПК, мл/мин/кг         | 59.7±6.9  | 62.2±10.2*  |

Примечание: \* – статистически значимые различия между подготовительным и соревновательным периодами  $p < 0.05$  (критерий Уилкоксона). ИМТ – индекс массы тела, ЖМТ – жировая масса тела, БМТ – безжировая масса тела, МПК – максимальное потребление кислорода.

В дни интенсивных физических нагрузок подготовительного периода у 56% лыжников-гонщиков выявлено снижение энергетической ценности рационов питания на 10% относительно рекомендаций (Kerksick et al., 2018; Jagim et al., 2021; Методические рекомендации..., 2023). В оба периода индивидуальные рационы питания содержали недостаточное количество углеводного компонента и избыток жирового относительно норм (табл. 5).

Таблица 5 – Энергопотребление лыжников-гонщиков в разные периоды годичного цикла

| Период | Белки, г/сут   | Жиры, г/сут    | Углеводы, г/сут | ЭЦ, ккал/сут  |
|--------|----------------|----------------|-----------------|---------------|
| ПП     | 129.7±33.7     | 147.0±35.5***  | 516.6±123.4***  | 4050.2±796.6* |
|        | 144.3±33.8 (N) | 100.2±23.5 (N) | 541.3±126.8 (N) | 4511±1056 (N) |
| СП     | 150.4±17.5     | 276.7±51.5***  | 666.7±122.5***  | 5986.3±923.7* |
|        | 162.4±38.0 (N) | 120.3±28.2 (N) | 721.7±169.0 (N) | 5413±1268 (N) |

Примечание: \*\*\* – статистически значимые различия между периодами и нормами  $p < 0.001$ , \*\* –  $p < 0.01$  (критерий Уилкоксона). ПП – подготовительный период, СП – соревновательный период, N – норма, ЭЦ – энергетическая ценность рациона.

Наблюдаемое в нашем исследовании избыточное потребление жиров, вероятно, компенсировало общий дефицит калорий в рационе питания у 95% лыжников-гонщиков, несмотря на централизованное стандартизированное трехразовое питание на базе Центра спортивной подготовки сборных команд Республики Коми. Опрос показал, что все респонденты покупали дополнительные продукты в магазинах (молочные продукты, фрукты, орехи, сладости и фаст-фуд),

что является не редкостью среди спортсменов (Rosenbloom et al., 2002; Jagim et al., 2021) в подготовительный и особенно в соревновательный период годового цикла. Структура индивидуальных рационов питания, содержащая недостаточное количество углеводного компонента и избыток жиров, повышает риск развития утомления, перетренированности и снижения иммунитета (Aslankeser, Balci, 2017; Физиолого-биохимические..., 2019; Li et al., 2020).

Исследования показывают (Fudge et al., 2006; Heydenreich et al., 2017; Wasserfurth et al., 2020), что спортсмены испытывают значительный энергодефицит в дни длительных высокоинтенсивных физических нагрузок. Кроме того, отмечают (Loucks, 2004; Burke, 2011; Fraczek et al., 2019; Wasserfurth et al., 2020; Brun et al., 2022) непреднамеренный риск развития низкой доступности энергии в периоды повышенного объема физических нагрузок или/и при несоответствующему расходу энергии ЭП. В нашем исследовании в дни интенсивных физических нагрузок во время подготовительного периода у всех лыжников-гонщиков обнаружен относительный энергетический дефицит 26 ккал/кг/сут вызывающий низкую доступность энергии (<15 ккал/кг БМТ/сут), которая ассоциирована с недостаточным потреблением углеводов ( $r_s=0.75$ ,  $p<0.05$ ) и снижением общей энергетической ценности рационов ( $r_s=0.58$ ,  $p<0.05$ ). При этом, относительный энергодефицит не сопровождался отрицательным азотистым балансом, на что указывают средние референсные значения мочевины (7 ммоль/л в подготовительный период и 5 ммоль/л в соревновательный период) и статистически незначимое снижение массы тела к соревновательному периоду среди обследуемых лыжников-гонщиков (табл. 4).

Наиболее значимыми факторами в приоритете распределения основных энергетических субстратов (углеводов и жиров) при физической нагрузке являются ее продолжительность и интенсивность (Henderson et al., 2007; Физиолого-биохимические механизмы..., 2019), поэтому было принято решение сравнить процентный вклад углеводов и жиров в энерготраты при физической нагрузке относительно фона (ЭТП) в сочетании с ЭП (рис. 2).

Соотношение жиров и углеводов в структуре рациона в подготовительный период составляло 39% к 61%, а в соревновательный период – 48% к 52% ( $p<0.001$ ). При переходе от подготовительного к соревновательному периоду прослеживалось увеличение вклада жиров в ЭТП и энерготраты при максимальной физической нагрузке.

Выявленная разница в процентном вкладе жиров и углеводов в энерготраты указывает на то, что спортсмены эффективно используют жиры при физической нагрузке подходя к соревновательному периоду годового цикла. Следует отметить, что %ЖМТ у спортсменов в соревновательный период был значительно ниже, чем в подготовительный период (9% и 11% соответственно), хотя оба параметра находились в пределах нормы для лыжников-гонщиков (Udebake et al., 2019; Grzebisz, 2020). Можно предположить, что значительное увеличение вклада жиров в энерготраты при максимальной физической нагрузке к соревновательному периоду объясняется повышенной скоростью утилизации

жиров, которая совпадает с увеличением МПК, что отражено в ранее проведенном нами исследовании (Lyudinina et al., 2020).

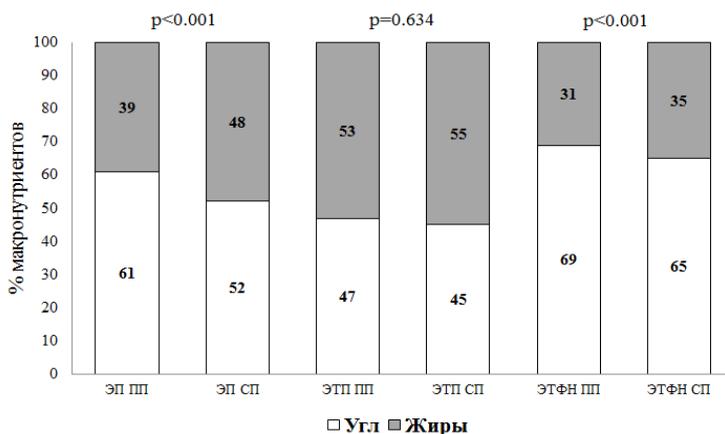


Рисунок 2 – Относительный вклад углеводов и жиров в энергопотребление и энерготраты максимальной физической нагрузки у лыжников-гонщиков в разные периоды годового цикла.

*Примечание: p – установлены статистически значимые различия между ПП и СП (критерий  $\chi^2$ ). ПП – подготовительный период, СП – соревновательный период, ЭП – энергопотребление, ЭТП – энерготраты покоя, ЭТФН – энерготраты при физической нагрузке, Угл – углеводы.*

**Блок III, этап 3.2. Энерготраты в покое и при физической нагрузке субмаксимальной мощности.** Разделение исходной группы спортсменов по результатам тестирования в зависимости от способности организма выдерживать нагрузку, преодолеть ПАНУ выявило значимые отличия в %ЖМТ, МПК на кг массы тела и ЧСС (табл. 6).

Показатель ЭТП между группами не различался ( $p=0.481$ ), при этом обнаружена статистически значимая разница в ДК ( $p<0.001$ ). В I группе ЭТП составили 2059 ккал/сут (ДК=0.80), в II группе были 2023 ккал/сут (ДК=0.86). В структуре энерготрат при субмаксимальной физической нагрузке отмечено достоверное увеличение доли жиров ( $p<0.05$ ) и снижение доли углеводов ( $p<0.001$ ) при сравнении групп (рис. 3).

В I группе фоновое ПК отрицательно коррелирует со скоростью окисления Угл в покое ( $p=0.010$ ;  $r_s=-0.24$ ), что, вероятно, объясняется повышенным запросом в кислороде на процессы окисления жиров, которые вносят больший вклад в ЭТП или экономизацией Угл даже в состоянии покоя у спортсменов I группы.

Таблица 6 – Антропометрические и физиологические характеристики обследуемых спортсменов

| Показатель                      | Группа I (n=28) | Группа II (n=108) |
|---------------------------------|-----------------|-------------------|
| Возраст, лет                    | 21.4±5.4        | 20.9±4.7          |
| Рост, см                        | 177.6±4.6       | 177.2±5.4         |
| Масса тела, кг                  | 71.1±5.3        | 70.2±5.8          |
| ИМТ, кг/м <sup>2</sup>          | 22.5±1.2        | 22.3±1.5          |
| ЖМТ, %                          | 12.0±3.9        | 9.9±4.0*          |
| МПК, л/мин                      | 4.1±0.5         | 4.3±0.5           |
| МПК на кг массы тела, мл/мин/кг | 57.9±6.7        | 61.2±5.9*         |
| PWC 170, Вт                     | 284.1±42.2      | 283.8±46.7        |
| ЧСС <sub>макс</sub> , уд/мин    | 173.1±17.0      | 183.1±10.2*       |

Примечание: \* – статистически значимые различия между группами  $p < 0.05$  (U-критерий Манна-Уитни). ИМТ – индекс массы тела, ЖМТ – жировая масса тела, МПК – максимальное потребление кислорода, PWC 170 – мощность нагрузки при частоте сердечных сокращений 170 уд/мин, ЧСС – частота сердечных сокращений. Группа I – спортсмены, которые завершили тест на ПАНО, группа II – спортсмены, которые выполнили тест «до отказа», перешли ПАНО.

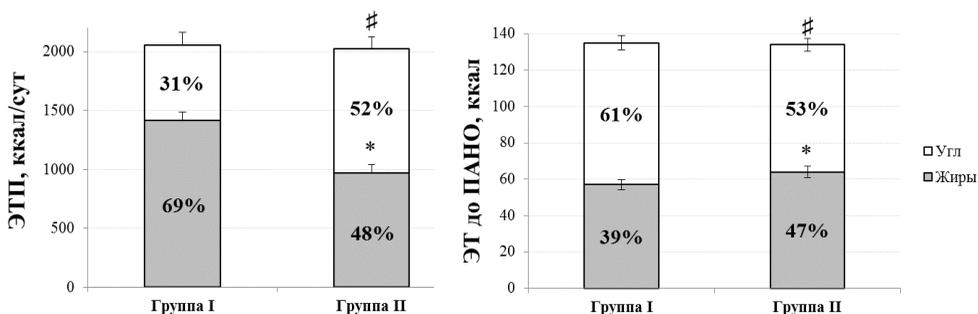


Рисунок 3 – Относительный вклад основных энергетических субстратов в энергозатраты покоя и энергозатраты до ПАНО среди обследуемых групп спортсменов.

Примечание: \* – статистически значимые различия между группами  $p < 0.05$  по жирам, # –  $p < 0.001$  по углеводам (критерий  $\chi^2$ ). ЭТП – энергозатраты покоя, ЭТ до ПАНО – энергозатраты в тесте до порога анаэробного обмена (включительно), Угл – углеводы. Группа I – спортсмены, которые завершили тест на ПАНО, группа II – спортсмены, которые выполнили тест «до отказа», перешли ПАНО.

При субмаксимальной физической нагрузке по сравнению с фоновыми показателями энергетических субстратов (рис. 3) в I группе идет переключение

субстратного энергообеспечения с жирового на углеводный. Вероятно, именно поэтому спортсмены I группы способны выполнить тест только до ПАНО, поскольку при аэробных нагрузках одним из главных механизмов утомления является расходование мышечного гликогена, лимитирующего работоспособность (Melzer, 2011). Напротив, в II группе в энергообеспечение субмаксимальной физической нагрузке до ПАНО дополнительно включаются жиры, что позволяет отодвигать момент истощения лимитированного гликогена, и как следствие, повышать продолжительность выполнения физической нагрузки (Melzer, 2011; Andersson Hall et al., 2016).

Показатели физической и аэробной работоспособности коррелируют с энерготратами при субмаксимальной физической нагрузке (табл. 7).

Таблица 7 – Корреляционные взаимосвязи между энерготратами за тест до ПАНО и показателями физической работоспособности у лыжников-гонщиков

| Показатель   | Группа I (n=28)           |        | Группа II (n=112) |        |
|--|---------------------------|--------|-------------------|--------|
|  | Энерготраты за тест, ккал |        |                   |        |
|  | rs                        | p      | rs                | p      |
| Максимальное потребление кислорода, л/мин                      | 0.91                      | <0.001 | 0.86              | <0.001 |
| Максимальное потребление кислорода на кг массы тела, мл/мин/кг | 0.60                      | 0.002  | 0.60              | <0.001 |
| Потребление кислорода на ПАНО, л/мин                           | 0.91                      | <0.001 | 0.44              | <0.001 |
| Ватт-Пульс ПАНО, Вт/уд/мин                                     | 0.56                      | 0.004  | 0.50              | <0.001 |
| PWC 170, Вт  | 0.55                      | 0.005  | 0.70              | <0.001 |

*Примечание: rs – коэффициент корреляции Спирмена. ПАНО – порог анаэробного обмена, PWC 170 – мощность нагрузки при частоте сердечных сокращений 170 уд/мин. Группа I – спортсмены, которые завершили тест на ПАНО, группа II – спортсмены, которые выполнили тест «до отказа», перешли ПАНО.*

Ранее установлено (Purcell et al., 2020; Варламова и др., 2021), что МПК является одним из предикторов работоспособности у спортсменов, тренирующихся на выносливость. Наши результаты показали, что абсолютные значения МПК между группами не отличались, однако в I группе ПК ПАНО было значительно выше, чем в группе II. Мы полагаем, что достоверно сниженное ПК ПАНО на 20% относительно МПК в II группе может свидетельствовать об экономизации функциональных резервов и возможности организма выполнять физическую нагрузку в течение длительного времени, в том числе и в анаэробном режиме.

## ВЫВОДЫ

1. Безжировая масса, скелетно-мышечная масса, активноклеточная масса, белки и общая вода организма в совокупности являются ключевыми детерминантами удельных энергозатрат покоя у высококвалифицированных лыжников-гонщиков, вклад которых превышает таковой у молодых людей, не занимающихся спортом.

2. Уравнение прогнозирования Харриса-Бенедикта занижает величину основного обмена на 13% и 4% относительно измеренных энергозатрат покоя у высококвалифицированных лыжников-гонщиков и молодых людей, не занимающихся спортом соответственно.

3. Энергетическая ценность рационов питания высококвалифицированных лыжников-гонщиков снижена на 10% относительно норм в подготовительный период в отличие от соревновательного периода. При этом, в дни интенсивных физических нагрузок вне зависимости от периода годового цикла у всех лыжников-гонщиков обнаружен недостаток углеводов и белков на фоне избыточного потребления жирового компонента в рационе питания.

4. Соотношение жиров и углеводов в структуре энергозатрат покоя и энергозатрат при субмаксимальной физической нагрузке, приближенное к 1:1, у высококвалифицированных лыжников-гонщиков является информативным маркером физической работоспособности. Увеличение вклада углеводов в энергообеспечение субмаксимальной физической нагрузки по сравнению с их фоновым уровнем лимитирует физическую работоспособность в анаэробной зоне у лыжников-гонщиков.

5. В подготовительный период (июнь) у высококвалифицированных лыжников-гонщиков, членов сборных команд Республики Коми и России, в дни высокоинтенсивных физических нагрузок выявлена низкая доступность энергии, ассоциированная со снижением энергетической ценности рационов и недостаточным потреблением углеводного компонента питания в отличие от соревновательного периода (март).

## СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Публикации в рецензируемых журналах:

1. Людина, А.Ю. Соответствие энергопотребления энергозатратам у лыжников-гонщиков в общеподготовительный период / А.Ю. Людина, Е.А. Бушманова, Т.В. Есева, Е.Р. Бойко // Вопросы питания. – 2022. – Т.91. – №1. – С. 109-116. **Scopus, RSCI.**

2. Бушманова, Е.А. Влияние пищевого термогенеза низкокалорийной углеводной нагрузки на энергозатраты покоя / Е.А. Бушманова, Т.П. Логинова, А.Ю. Людина // Журн. мед.-биол. исследований. – 2023. – Т.11. – №2. – С. 153-161. **ВАК (К2).**

3. **Bushmanova, E.A.** Rest energy expenditure and energy expenditure during submaximal exercise: new approach to assessment of performance in skiers / **E.A. Bushmanova, A. Yu. Lyudinina** // Human Physiology. – 2023. – V.49. – №5. – P. 538-544. **Scopus, RSCI.**

4. **Бушманова, Е.А.** Современные подходы к оценке энерготрат и энергопотребления у спортсменов / **Е.А. Бушманова**, А.Ю. Людинаина // Вопросы питания. – 2023. – Т.92. – №5. – С. 16-27. **Scopus, RSCI.**

5. **Бушманова, Е.А.** Биоимпедансный анализ компонентного состава тела и энерготраты покоя у высококвалифицированных лыжников-гонщиков / **Е.А. Бушманова**, А.Ю. Людинаина // Вопросы питания. – 2024. – Т.93. – №3. С. 23-30. **Scopus, RSCI.**

6. **Bushmanova, E.A.** The Prevalence of Low Energy Availability in Cross-Country Skiers during the Annual Cycle / **E.A. Bushmanova**, A. Y. Lyudinina, E.R. Wojko // Nutrients. – 2024. – V.16. – Article 2279. **WOS, Scopus, PubMed.**

7. **Bushmanova, E.A.** The Modern Concepts of Energy Balance and Energy Availability in Sports / **E.A. Bushmanova, A.Yu. Lyudinina** // Human Physiology. – 2024. – V.50. – №6. – P. 646-656. **Scopus.**

#### **Патенты и авторские свидетельства:**

8. Людинаина, А.Ю. Оценка энерготрат и вклада макронутриентов в физическую работоспособность в тесте «до отказа» на системе Охусон Pro / А.Ю. Людинаина, **Е.А. Бушманова**, Е.Р. Бойко, Н.Г. Варламова // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 022614375, 21.03.2022.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- %ЖМТ – процент жировой массы тела
- БМТ – безжировая масса тела
- ВОО – величина основного обмена
- ДК – дыхательный коэффициент
- МПК – максимальное потребление кислорода
- ПАНО – порог анаэробного обмена
- ПК – потребление кислорода
- СММ – скелетно-мышечная масса
- ЧСС – частота сердечных сокращений
- ЭП – энергопотребление
- ЭТП – энерготраты покоя

Подписано в печать 09.06.2025  
Компьютерный набор. Гарнитура Times New Roman. Формат 60x90<sup>1/16</sup>.  
Бум. IQ allround. Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 1.0.  
Тираж 100. Заказ 163.

Информационно-издательский отдел  
Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения Российской  
академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского  
отделения Российской академии наук» (ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, 167982,  
г. Сыктывкар, ул.Первомайская, д.50